

Monitorização contínua dos consumos energéticos em centros comerciais e consequente influência no seu desempenho energético

Chamartín Imobiliária

Emília Noémia Martins Lemos Costa

Dissertação do MIEM

Orientador no grupo Chamartín: Engenheiro Tiago Rodrigues

Orientador na FEUP: Prof. José Luís Alexandre



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho, 2014

*“If you want to find the secrets of the universe,
think in terms of energy, frequency and vibration”*

Nicolas Tesla

Resumo

O presente trabalho foi elaborado no âmbito do desenvolvimento de dissertação a apresentar com vista à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, ramo de Energia Térmica.

Como objetivo principal pretende-se avaliar a validade da aplicação de sistemas de monitorização contínua de consumos energéticos enquanto ferramenta de avaliação pormenorizada de consumos. Pretende-se provar que esta análise detalhada será vantajosa na determinação de medidas de melhoramento da performance energética em edifícios da tipologia Centro Comercial.

Afim de atingir o objetivo apresentado definiu-se uma metodologia que se baseou no estudo de um caso prático (Centro Comercial), em que foi instalado um sistema de monitorização contínua de consumos elétricos.

O sistema de monitorização foi instalado de forma a registar os consumos elétricos de cada utilizador (produção e distribuição de água gelada, ventilação e iluminação). A partir dos dados registados numa base de dados acessível remotamente foi possível realizar a análise que incidiu sobre os pontos seguintes:

- perfis de utilização diária e sua comparação com o estabelecido teoricamente;
- correlação dos consumos globais de cada utilizador com as variáveis independente consideradas como mais influentes do consumo energético - temperatura exterior e ocupação média do Centro Comercial,
- avaliação de eventuais medidas de melhoria de consumos em termos de redução efetiva de consumos e em termos de potenciais benefícios financeiros que daí se possam obter,
- estabelecimento de indicadores de performance energética (EPIs) para o edifício em análise.

Como conclusões principais deve sublinhar-se que se provou que uma monitorização de consumos elétricos contínua é aconselhável neste tipo de edifícios. Esta permite a separação daquilo que os consumos totais em frações específicas que dizem respeito a cada um dos utilizador possibilitando assim uma avaliação mais precisa de eventuais flutuações nos consumos.

Conclui-se também que a partir deste tipo de sistema é ainda possível a deteção de avarias nos equipamentos, bem como avaliar a eficiência dos mesmos. Portanto, recorrendo à monitorização de consumos, os gestores têm a informação necessária para concluir acerca da necessidade ou não da substituição de equipamentos por outros mais eficientes em tempo real.

Continuous monitoring of energy consumptions on Shopping Malls and consequent influence on Energy Performance

Abstract

The present work has been written under the development of a dissertation to complete the Master's Degree on Mechanical Engineering, on the speciality of Thermal Energy.

Its aim is to evaluate the viability of the installation of continuous energy monitoring systems as a tool of detailed assessment of electric consumptions. The feasibility of this type of analysis to determinate potential energy economy opportunities on Shopping Malls buildings will also be studied.

To achieve this objectives, a methodology was established. It was selected a practical case (Shopping Mall), where a continuous electric energy monitoring system was installed.

The monitoring system allows the record of the electric consumptions divided through the various energy consumers (production and distribution of cold water, ventilation and lighting) on a web platform remotely accessible. The analysis of the recorded data covered the following subjects:

- Daily consumption profiles and its comparison with the theoretical utilization determined for each electrical panel;
- Correlation of the global consumptions for each consumer with the independent variables considered - outside temperature and occupation;
- Determination and evaluation of the energy economy potential in terms of consumptions reduction and financial savings;
- Determination of the energy performance indicators (EPI) of the case study.

It was possible to conclude that the continuous energy monitoring system is useful on this kind of buildings. It allows the consumptions breakdown on the various consumers, which makes it possible to determine the impact of each one on the final consumption. It also allows the determination of possible fluctuations on the consumptions and its consequent troubleshoot analysis.

It was also possible to conclude that, using this kind of systems, it is possible to detect malfunctions of several electric equipment's and to evaluate their efficiency. Therefore, the consumptions monitoring can be a valuable tool to determine the necessity and viability of replacing equipment's by the building managers.

Agradecimentos

Ao Professor José Luis Alexandre pela orientação e constante desafio, incentivando sempre a autonomia e a busca por soluções criativas para contornar os muitos problemas que foram surgindo com o desenvolver do trabalho.

Ao Engenheiro Tiago Rodrigues pela oportunidade de trabalhar com o grupo Chamartín e pelo apoio prestado na ponte entre a FEUP e a empresa.

Ao Dr. Sérgio Queirós pelo incansável apoio prestado quer nas minhas diversas deslocações ao Centro Comercial Dolce Vita Ovar, quer à distância, respondendo pronta e completamente aos diversos pedidos de informação e colaboração.

À WSBP, na pessoa do Engenheiro Miguel Soares, pelo apoio na instalação e manutenção do equipamento de monitorização de consumos elétricos instalado no Centro Comercial.

À Edigreen, na pessoa do Engenheiro Rui Lima, pela orientação na análise dos dados que ia recebendo em bruto e que constituiu um dos maiores desafios do presente trabalho.

Aos técnicos de manutenção do Dolce Vita Ovar, Vítor e Luís, pela simpatia demonstrada nas horas em que responderam a todas as minhas perguntas e pelos quilómetros em que me acompanharam a fazer reconhecimento dos equipamentos instalados.

Aos meus pais, José e Maria Emília, por serem os grandes motores do meu percurso académico que agora chega ao final, motivando-me e desafiando-me, acreditando sempre mais em mim do que eu própria.

À minha irmã, Carolina, por me saber distrair das preocupações com a piada certa no momento certo.

Ao meu companheiro do piso 5, Rui Fonseca, pela amizade, compreensão e ensinamentos musicais que contribuíram em cerca de 70% para a banda sonora desta dissertação.

Ao Fernando Costa, ao João Faria, ao João Pontedeira e ao João Martins pelas francesinhas regadas com amizade partilhadas ao longo de todo este tempo.

A todos os meus amigos que apesar de não serem referidos individualmente sabem quem são, pelo apoio e momentos de descontração que me proporcionaram e sem os quais estou certa não seria possível concluir mais esta etapa.

Por fim ainda uma palavra aos colegas de curso do MIEM com os quais partilhei o meu percurso académico e que enfrentam agora como eu a incerteza do futuro para deixar a convicção que depois das ferramentas que adquirimos ao concluir o plano de estudos, somos capazes de enfrentar qualquer desafio.

Índice de Conteúdos

1	Apresentação do problema.....	1
1.1	O grupo Chamartín	1
1.2	Enquadramento do trabalho na estratégia da empresa	1
1.3	Objetivos a atingir com o trabalho	2
1.4	Organização e metodologia de estudo	3
2	Enquadramento e importância do trabalho no contexto de utilização energética mundial atual.....	5
2.1	O consumo energético mundial – da necessidade de maior eficiência na utilização de energia à performance energética nos edifícios.....	5
2.1.1	Eficiência Energética	9
2.1.2	Performance energética	12
2.2	A legislação Europeia para a performance energética nos edifícios enquanto resposta aos desafios internacionais.....	23
2.2.1	Definição de nZEB	25
2.2.2	Projetos Europeus	26
2.3	Certificação Energética dos edifícios – panorama mundial e caso europeu	28
2.4	<i>Benchmarking</i> energético enquanto ferramenta de comparação e incentivo ao melhoramento de performances energéticas	29
2.4.1	Normalização simples.....	31
2.4.2	Método dos Mínimos Quadrados (OLS – Ordinary Least Square)	31
2.4.3	Análise estocástica de fronteira (SFA – Stochastic frontier analysis).....	32
2.4.4	Análise dos dados em envelope (DEA – Data envelopment analysis).....	33
2.5	Quantificação e monitorização dos consumos energéticos em edifícios – as abordagens	33
3	Caracterização dos centros comerciais enquanto edifícios de serviços e utilizadores de recursos energéticos	37
3.1	A realidade da indústria dos Centros Comerciais em Portugal: Perfis e características de utilização.....	37
3.2	Tipos de sistemas AVAC característicos em Centros Comerciais	41
3.3	Características dos consumos energéticos no setor dos serviços – caso Norte-americano, Europeu e Português	43
3.4	Aumento da eficiência energética em Centros Comerciais	46
4	Caso de estudo	49
4.1	O Dolce Vita Ovar	49
4.1.1	Sistema de climatização instalado	50
4.1.2	Descrição dos consumos energéticos no Centro Comercial	52
4.1.3	Horários de utilização dos vários equipamentos	53
4.1.4	Análise à evolução de consumos energéticos	53
4.2	Metodologia de Monitorização dos consumos energéticos	57
5	Apresentação e discussão de resultados.....	61
5.1	Avaliação de padrões de consumos	61
5.3.1	Validação experimental	61

5.3.2	Análise dos perfis de consumo energéticos diários em cada um dos quadros elétricos	63
5.3.3	Determinação de correlações experimentais descritivas do comportamento de consumo em cada um dos quadros.....	76
5.2	Medidas de melhoria de consumos energéticos propostas a partir da análise dos dados de monitorização de consumo, respetivo impacto e período de retorno	89
5.2.1	Medida I – automatização de processos	90
5.2.2	Medida II – revisão da ventilação dos espaços.....	92
5.2.3	Medida III – redução da iluminação exterior no período noturno.....	94
5.2.4	Medida IV – substituição do sistema de produção de água gelada	94
5.3	Cálculo dos Indicadores de Performance Energética do edifício recorrendo aos resultados experimentais.....	99
6	Conclusões e trabalhos futuros	101
7	Referências e Bibliografia	103
ANEXO A: Sistemas de Certificação energética – LEED, BREEAM e SBMethod		107
ANEXO B: Resultados projetos AuditAC e HarmonAC.....		113
ANEXO C: Evolução temporal das inaugurações de Centros Comerciais em Portugal.....		123

Lista de Figuras

Figura 1 - Logotipo comercial do grupo Chamartín Imobiliária[1]	1
Figura 2 – Evolução do consumo energético <i>per capita</i> com o PIB em 29 países e 2 regiões[3]	6
Figura 3 – Consumo energético em função da finalidade para várias tipologias de edifícios, Fonte: <i>U.S. Energy Information Administration</i> (EIA) [4]	7
Figura 4 - Esquema das utilizações energéticas em edifícios residenciais e de serviços na União Europeia em 2001 [5]	8
Figura 5 – Quadro explicativo dos parâmetros a ter em conta na avaliação da eficiência energética de edifícios[9].....	10
Figura 6 - Coeficiente de temperatura, K_T , em função da temperatura[13]	14
Figura 7 – Esquema geral de sequência de passos na aplicação do algoritmo genético.[5].....	18
Figura 8 - Esquema de uma camada de neurónios com a aplicação da função de ativação[5]	19
Figura 9 – Efeito da ventilação na carga de arrefecimento de uma habitação com temperatura interior de 25°C [25]	20
Figura 10 – Diferença anual de cargas em função da projeção do sombreamento no envidraçado.....	21
Figura 11 – Fases do processo de <i>benchmarking</i> [12].....	29
Figura 12 - Diagrama de comparação de procedimentos da auditoria energética tradicional em comparação com os do processo de monitorização contínua [36]	35
Figura 13 – Número de Centros Comerciais inaugurados por ano em Portugal [40]	39
Figura 14 – Comparação entre os vários países Europeus (Europa a 27) da ABL (m^2) por cada milhar de habitantes, Abril de 2014[41]	39
Figura 15 – ABL inaugurada anualmente [40]	40
Figura 16 - Consumo total de energia nos EUA por sector económico em 2012[44].....	44
Figura 17 - Consumo total de energia na Europa por sector económico em 2009[45]	44
Figura 18 - Evolução do consumo energético em cada sector económico nos EUA entre 1949 e 2012[44].....	45
Figura 19 - Evolução do consumo energético em cada sector económico na Europa entre 1990 e 2009 [45].....	45
Figura 20 - Consumo energético por sector em Portugal no ano de 2011 [46]	45
Figura 21 – Secções e subsecções em que se subdividem as medidas de conservação de energia (ECOs) encontradas.	48
Figura 22 – Pormenor do <i>Mall</i> do Centro Comercial	49
Figura 23 – Pormenor do parque de estacionamento do CC	50

Figura 24 – Pormenor da envolvente do CC em que se procura promover atividades ao ar-livre.....	50
Figura 25 – Esquema conceptual dos circuitos elétricos que alimentam os 4 compressores incluídos em cada um dos dois Chillers instalados	51
Figura 26 - Distribuição percentual dos consumos elétricos médios mensais em função da finalidade desde o início de 2014 [Fonte: registos internos do Centro Comercial]	52
Figura 27 - Evolução comparativa dos consumos elétricos mensais ao longo do ano para o período de 2010 a 2013 [Fonte: registos internos do CC]	54
Figura 28 - Evolução comparativa dos consumos elétricos mensais associados à iluminação exterior ao longo do ano para o período de 2010 a 2013 [Fonte: registos internos do CC]	55
Figura 29 - Evolução comparativa dos consumos elétricos mensais associados à iluminação interior ao longo do ano para o período de 2010 a 2013 [Fonte: registos internos do CC]	56
Figura 30 - Evolução comparativa dos consumos elétricos mensais associados ao sistema AVAC ao longo do ano para o período de 2010 a 2013 [Fonte: registos internos do CC]	56
Figura 31 – Estrutura de abastecimento de eletricidade aos vários quadros	57
Figura 32 – Esquema resumo da monitorização dos sistemas e dos subsistemas de alimentação dos diferentes equipamentos	58
Figura 33 –Esquema resumo dos equipamentos alimentados e potências instaladas em cada quadro	59
Figura 34 – Repartição percentual dos consumos energéticos em cada um dos quadros monitorizados no período de 2 de Abril a 12 de Maio	62
Figura 35 – Repartição percentual dos consumos energéticos em cada um dos quadros monitorizados no período de 13 a 27 de Maio	62
Figura 36 – Discretização dos consumos segundo áreas consumidoras de energia (“ <i>EnergyBreakdown</i> ”).....	62
Figura 37 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE1AVAC (distribuição de frio) para dias úteis (Domingo a Quinta)	64
Figura 38 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE1AVAC (distribuição de frio) para finais de semana (Sextas e Sábados)	64
Figura 39 - Evolução dos consumos horários no quadro QE1AVAC de dia para dia entre 2 de abril e 25 de maio	65
Figura 40 - Caracterização do quadro QE1AVAC quanto à percentagem de utilização do mesmo relativamente à Potência Nominal	66
Figura 41- Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE2AVAC (ventilação) para dias úteis (Domingo a Quinta)	67
Figura 42 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE2AVAC (ventilação) para dias finais de semana (Sextas e Sábados)	67

Figura 43- Evolução dos consumos horários no quadro QE2AVAC de dia para dia entre 2 de Abril e 25 de Maio.....	68
(Figura 44 - Caracterização do quadro QE2AVAC quanto à percentagem de utilização do mesmo relativamente à Potência Nominal (28.7 kW).....	69
Figura 45 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE3AVAC (ventilação) para os Domingos	69
Figura 46 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE3AVAC (ventilação) para os dias úteis (Segunda a Quinta).....	70
Figura 47 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE3AVAC (ventilação) para as Sextas.....	70
Figura 48 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE3AVAC (ventilação) para os Sábados.....	71
Figura 49 - Evolução dos consumos horários no quadro QE3AVAC de dia para dia entre 13 a 25 de Maio.....	72
Figura 50 - Caracterização do quadro QE3AVAC quanto à percentagem de utilização do mesmo relativamente à Potência Nominal (49.12 kW).....	72
Figura 51 - Comparação do perfil de consumo para três dias de monitorização diferentes do quadro de Circuitos Não Prioritários (Segundas-feiras).....	73
Figura 52 - Comparação do perfil de consumo para três dias de monitorização diferentes do quadro de Circuitos Não Prioritários (Sextas-feiras).....	74
Figura 53 - Comparação do perfil de consumo para três dias de monitorização diferentes do quadro de Circuitos Não Prioritários (Sábados)	74
Figura 54 - Comparação do perfil de consumo para três dias de monitorização diferentes do quadro de Circuitos Não Prioritários (Domingos).....	75
Figura 55 - Evolução dos consumos horários no quadro Circuitos Não Prioritários de dia para dia entre 2 de Abril e 25 de Maio	76
Figura 56 - Caracterização do quadro Circuitos Não Prioritários quanto à percentagem de utilização do mesmo relativamente à potência nominal (240 kW)	76
Figura 57 – Potência média horária registada em função da temperatura exterior média diurna para o período de 10 de Abril a 27 de Maio no quadro QE1AVAC	78
Figura 58 - Potência média horária registada em função da ocupação média diária para o período de 10 de Abril a 27 de Maio no quadro QE1AVAC	78
Figura 59 - Potência média horária registada em função da temperatura exterior média diurna para o período de 2 de Abril a 27 de Maio no quadro QE2AVAC	81
Figura 60 - Potência média horária registada em função da ocupação média diária para o período de 2 de Abril a 27 de Maio no quadro QE2AVAC	81
Figura 61 - Potência média horária registada em função da temperatura exterior média diurna para o período de 13 a 27 de Maio no quadro QE3AVAC.....	84
Figura 62 - Potência média horária registada em função da ocupação média diária para o período de 13 a 27 de Maio no quadro QE3AVAC	84

Figura 63 – Evolução temporal da potência média horária registada no período das 01:00 às 04:00 no quadro Circuitos Não Prioritários desde 2 de Abril a 27 de Maio	87
Figura 64 - Evolução temporal da potência média horária registada no período das 06:00 às 08:00 no quadro Circuitos Não Prioritários desde 2 de Abril a 27 de Maio	88
Figura 65 - Evolução temporal da potência média horária registada no período das 09:00 às 19:00 no quadro Circuitos Não Prioritários desde 2 de Abril a 27 de Maio	88
Figura 66 - Evolução temporal da potência média horária registada no período das 20:00 às 00:00 no quadro Circuitos Não Prioritários desde 2 de Abril a 27 de Maio	89
Figura 67 – Zona de influência das UTAs [dados retirados da GTC]	93
Figura 68 – Caracterização da utilização dos Chillers ao longo do ano de 2013 baseada em leituras de consumos horários de energia ativa fornecidos pela EDP	97
Figura 69 – Evolução do consumo elétrico e consequente custo anual com a evolução do EER da máquina adotada para produção de frio	98
Figura 70 – Apresentação dos resultados para a distribuição dos consumos normalizados pela área comum em Centros Comerciais portugueses levantado a partir dos dados disponíveis em [40] para o ano de 2011	100
Figura 71 - ECOs mais frequentes nos sistemas de AC [61]	121
Figura 72 – Evolução temporal das inaugurações de Centros Comerciais do tipo Tradicional grande e muito grande em Portugal [40]	123
Figura 73 - Evolução temporal das inaugurações de Centros Comerciais do tipo Tradicional médio em Portugal [40]	123
Figura 74 - Evolução temporal das inaugurações de Centros Comerciais do tipo Tradicional pequeno e muito pequeno e sem âncora dominante em Portugal [40]	123
Figura 75 - Evolução temporal das inaugurações de Centros Comerciais do tipo especializado em Portugal [40]	123

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Utilização energética no sector comercial por tipologia de edifício para vários países [4].....	7
Tabela 2 – Sistemas de classificação de eficiência energética em vigor[9]	11
Tabela 3 – Comparação entre determinação de consumos anuais por simulação e por medição [12]	30
Tabela 4 – Classificação dos Centros Comerciais em Portugal segundo a sua Área Bruta Locável (ABL) [40]	38
Tabela 5 – Caracterização das remodelações a Centros Comerciais [40]	40
Tabela 6 - Distribuição de consumos energéticos típicos em edifícios de venda a retalho [48]	46
Tabela 7 – Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE1AVAC e a temperatura exterior diária	79
Tabela 8 - Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE1AVAC e a ocupação média diária.....	80
Tabela 9 - Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE2AVAC e a temperatura exterior diária	82
Tabela 10 - Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE2AVAC e a ocupação média diária.....	83
Tabela 11 - Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE3AVAC e a temperatura exterior diária	85
Tabela 12 - Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE3AVAC e a ocupação média diária.....	86
Tabela 13 – Horários do ciclo semanal para os fornecimentos em Portugal Continental [54]	91
Tabela 14 – Poupanças mensais absolutas e financeiras resultantes da medida I	92
Tabela 15 – Cálculos das renovações de ar impostas pelo funcionamento das UTAs.....	93
Tabela 16 – Resultados para os preços unitários equivalentes determinados	95
Tabela 17 – Resumo das medidas de poupança energética encontradas e respetivo impacto financeiro anual esperado.	101
Tabela 18 – Número de critérios por área e por perspetiva em cada uma das fases [60].....	111
Tabela 19 – ECO's para a envolvente e cargas térmicas. [50]	114
Tabela 20 – ECO's para a instalação. [50]	115
Tabela 21 – ECO's para operação e manutenção. [50]	117

Acrónimos

ASHRAE – *American Society of Heating Ventilation and Air-Conditioning Engineers* (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado)

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado

BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology* (Metodologia para a avaliação do impacto ambiental de edifícios)

CC – Centro Comercial

CFD – *Computational Fluid Dynamics* (análise de dinâmicas do comportamento dos fluidos por método computacional)

DV – Dolce Vita

ECO – *Energy Performance Opportunities* (Oportunidades de melhoramento do desempenho energético)

EER – *Energy Efficiency Ratio* (Rácio de Eficiência Energética)

EIA – *U. S. Energy Information Administration* (Agência de Informação Energética dos Estados Unidos da América)

EM – Estados Membros

EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive* (Directiva Europeia para o desempenho energético em edifícios)

EPI – *Energy Performance Indicator* (Indicador de desempenho energético)

ERF – *Energy Rating Factor* (Factor de rácio energético)

iiSBE – *International initiative for a sustainable built environment* (iniciativa internacional para um ambiente construído sustentável)

LCA – *Life Cycle Assessment* (Análise de ciclo de vida)

LEED – *Leadership in Energy and Building Design* (Liderança em energia e *design* em edifícios)

nZEB – *Nearly Zero Energy Building* (Edifício com consumos energéticos líquidos perto de zero)

REHVA – *Federation of European Heating, Ventilation and Air-Conditioning Associations* (Federação Europeia de Associações de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado)

SBMethod – *Sustainable Building Method* (Método do edifício sustentável)

SBTool – *Sustainable Building Tool* (Ferramenta do edifício sustentável)

SEER – *Seasonal Energy Efficiency Ratio* (Rácio de eficiência energética sazonal)

UE – União Europeia

Nomenclatura

E – energia total consumida durante um mês [$W \cdot h$]

S - Área total do edifício [m^2]

H – Horas num mês [h]

U – Número médio de utilizadores num dia

AE – Energia consumida pelo sistema de ar-condicionado num mês [$W \cdot h$]

V_A – Volume climatizado do edifício [m^3]

T – Temperatura [$^{\circ}C$]

ϕ_{ent} – Fluxo de calor de entrada [W/m^2]

ϕ_{fc} – Fluxo de calor proveniente de uma fonte de calor interna [W/m^2]

ϕ_{sai} – Fluxo de calor de saída [W/m^2]

ϕ_{arm} – Fluxo de calor armazenado [W/m^2]

$\dot{Q}_{arrefec.}$ – Potência térmica de arrefecimento [kW]

\dot{W} – Potência elétrica [kW]

Y – Variável dependente

X – Variável independente

α - Constante

f – Fator de conversão para energia primária

t - Coeficiente da distribuição em t de student

SE – Erro-padrão da estimativa

β – Vetor de parâmetros a estimar

v – Erro aleatório pertencente a uma distribuição normal

u – Variável aleatória não-negativa associada a ineficiências técnicas

1 Apresentação do problema

1.1 O grupo Chamartín

O grupo Chamartín Imobiliária (ver Figura 1) tem como grandes áreas de negócio a promoção, gestão de ativos e prestação de serviços de gestão em três campos de atuação (*Retail* e Parques Temáticos, Residencial e *Corporate*) em quatro países: Espanha, Portugal, Alemanha e Estados Unidos.

A empresa teve a sua origem por volta do ano de 1950, constituindo inicialmente uma construtora que teve a seu cargo mais de 500 obras em 20 anos. Entre estas destacam-se empreendimentos públicos e privados como caminhos-de-ferro, estradas, pontes, etc.



Figura 1 - Logótipo comercial do grupo Chamartín Imobiliária[1]

A chegada da década de 1970 trouxe consigo o chamado “boom imobiliário”. Surgiram oportunidades de negócio no arrendamento de edifícios, o que levou a empresa a expandir a sua área de negócio de forma a poder competir neste mercado.

Assim, neste momento, o grupo possui ativas duas grandes áreas de negócio em território Português, a saber:

- *Retail* e Parques temáticos – possuindo e gerindo a marca de Centros Comerciais Dolce Vita e o parque temático KidZania.
- *Corporate* – segmento de arrendamento de escritórios que procura aproveitar espaços e direcioná-los às necessidades dos clientes.

Nas palavras do seu presidente, Carlos Cutillas, a empresa assume nesta altura que um dos grandes desafios a que se propõe é a promoção de “edifícios sustentáveis”. Assim, a empresa assumiu uma política de desenvolvimento claramente direcionada para a investigação, desenvolvimento e implementação ativos de políticas de cada vez maior sustentabilidade ambiental das várias vertentes dos negócios que envolvem os seus edifícios.

1.2 Enquadramento do trabalho na estratégia da empresa

Tal como referido na secção anterior, uma das políticas estratégicas que o grupo Chamartín Imobiliária assume é a sustentabilidade e a promoção da mesma nos edifícios que gere.

No relatório de sustentabilidade publicado pela empresa em 2010 [2] pode constatar-se essa mesma preocupação, sendo que a linha de ação do grupo tem em atenção diferentes aspetos que constituem a sustentabilidade do edifício em sentido mais lato, nomeadamente no que toca ao desempenho económico, social e ambiental do mesmo.

Quanto ao desempenho ambiental em específico, este conceito é interpretado pela empresa sob a forma de três indicadores (consumo de água, consumo de energia e quantidade de resíduos valorizados) que se pretendem melhorar. Tendo em conta este último objetivo, o grupo desenvolveu aquilo a que chamou as “10 categorias de sustentabilidade da Chamartín”.

Inspiradas no sistema de classificação energética BREEAM (pode consultar-se o anexo A.b) para mais informação sobre este sistema de classificação), as categorias são[2]:

- Energia;
- Água;
- Resíduos;
- Biodiversidade;
- Materiais;
- Qualidade do ar interior;
- Qualidade do ar exterior;
- Crescimento económico;
- Envolvimento das partes interessadas;
- Bem-estar social.

Atendendo a esta política de preocupação ativa com a sustentabilidade dos edifícios, assume-se como fundamental, na ótica da ação da empresa, a otimização da gestão da operação dos edifícios. Esta gestão envolve quer as questões ambientais de minimização do impacto da exploração dos edifícios, quer a parte prática da poupança financeira associada a uma exploração mais eficiente dos recursos.

É nesta linha que surge o presente projeto que pretende justamente agir no domínio da otimização da utilização de recursos energéticos na fase de exploração ou utilização do edifício. Desta forma, com a realização deste trabalho, analisar-se-á a potencial redução de consumos energéticos associados à exploração de um Centro Comercial do grupo, o Centro Comercial Dolce Vita Ovar. A partir dos resultados obtidos extrapolar-se-á também o eventual potencial de redução de consumos energéticos nos restantes edifícios da mesma tipologia do grupo.

1.3 Objetivos a atingir com o trabalho

Tendo em conta o exposto sobre a linha de ação da empresa e do seu interesse em tornar cada vez mais eficiente a exploração dos seus edifícios, definem-se os objetivos específicos seguintes a atingir com a concretização do presente trabalho:

1. Identificação do tipo de sistemas AVAC mais frequentes em Centros Comerciais;
2. Avaliação dos principais tipos de consumos energéticos e estabelecimento de padrões ao mesmo tipo de edifícios do grupo;
3. Identificação e caracterização das melhores opções de monitorização energética em Centros Comerciais;
4. Caracterização do edifício adotado como caso de estudo relativamente aos indicadores de performance energética.
5. Avaliação do impacto de eventuais medidas de melhoria de consumos energéticos com base na análise da informação recolhida.

1.4 Organização e metodologia de estudo

Conforme referido nas secções anteriores, pretende-se, recorrendo a um caso de estudo específico, concluir acerca da importância da monitorização de consumos energéticos enquanto ferramenta que permite avaliar eventuais poupanças de outra forma indetetáveis.

Com o objetivo de facilitar a organização, o presente trabalho está dividido em quatro grandes partes, associadas aos quatro capítulos em que se subdivide:

1. **Enquadramento e importância do trabalho no contexto de utilização energética mundial atual** - realizar-se-á uma análise ao estado de arte envolvendo o consumo energético mundial e consequente necessidade de uma preocupação com os conceitos de eficiência e certificação energéticas. Abordar-se-á também a atual legislação europeia aplicável aos consumos energéticos em edifícios. Por último, será referida a importância da comparação entre edifícios como forma de promover uma exploração mais sustentada dos recursos energéticos e ainda as formas de quantificação dos consumos energéticos em edifícios que se poderão adotar, considerando as suas vantagens e inconvenientes.
2. **Caracterização dos Centros Comerciais enquanto edifícios de serviços e utilizadores de recursos energéticos** - caracterização detalhada da tipologia de edifícios em estudo quanto à sua realidade em termos de mercado de negócio em Portugal e os consumos energéticos associados ao setor dos serviços em que os Centros Comerciais se enquadram. Por último, foi realizado um levantamento dos sistemas de AVAC típicos neste tipo de utilizadores e ainda das potenciais medidas de melhoria de consumos gerais tendo em conta a tipologia dos edifícios.
3. **Caso de estudo** - análise do edifício e da sua instalação AVAC bem como da evolução dos consumos energéticos totais e apresentação da metodologia de monitorização de consumos elétricos adotada.
4. **Apresentação e discussão de resultados** - Avaliação dos padrões de consumo a partir dos resultados obtidos e proposta de possíveis medidas de melhoria de consumos para as quais se apresenta também o seu potencial impacto financeiro.

Monitorização contínua dos consumos energéticos em centros comerciais e consequente influência no seu desempenho energético

2 Enquadramento e importância do trabalho no contexto de utilização energética mundial atual

2.1 O consumo energético mundial – da necessidade de maior eficiência na utilização de energia à performance energética nos edifícios

Interessa neste ponto fazer uma análise à tendência de consumo energético mundial. Em [3] foi realizado um estudo sobre os fatores dominantes na evolução do consumo energético sendo que os comumente aceites são o aumento ou diminuição da população do país, o melhoramento das condições de vida, o desenvolvimento tecnológico e científico e ainda as condições específicas de cada país ou região tal como a cultura, estilo de vida ou infraestrutura económica. Na Figura 2 pode verificar-se a correlação encontrada na publicação referida entre o aumento do PIB de cada país e o correspondente aumento do consumo energético *per capita*.

Neste estudo, foram ainda identificados, como principais motores do aumento do consumo energético em cada país, quer o crescimento populacional, quer o crescimento da estrutura consumidora de energia a nível nacional (incluem-se nesta categoria os consumos inerentes a atividades económicas industriais e de serviços). No caso dos países desenvolvidos foi determinado que o efeito da população não é significativo relativamente ao efeito provocado pelo crescimento da estrutura nacional. Quanto aos países em desenvolvimento, os dois fatores são relevantes já que estes países se caracterizam por um rápido desenvolvimento quer económico quer populacional. No entanto, o efeito da estrutura nacional tem um peso ligeiramente superior também neste último domínio. Um caso que sai desta lógica é o da região africana que apresenta uma correlação forte entre o crescimento do consumo energético com o crescimento populacional ao invés do crescimento da estrutura económica de cada país. Mesmo com esta exceção, o estudo conclui que o fator dominante na influência do consumo energético *per capita* de uma nação será o consumo inerente à sua estrutura económica e tecnológica [3].

Por outro lado, em [4] é exposta uma análise à evolução de vários indicadores energéticos entre 1973 e 2004 sendo possível concluir o seguinte:

- A taxa de crescimento da população situa-se abaixo do crescimento do PIB, o que resulta num enriquecimento relativo das populações, adquirindo melhores condições de vida, por exemplo ao nível de cuidados de saúde.
- O consumo de energia primária cresceu a uma taxa superior ao crescimento populacional, traduzindo-se num aumento de consumo de energia primária *per capita* de cerca de 15,7%.
- As emissões de CO₂ aumentaram a uma taxa inferior à do consumo energético (5% de aumento).
- O consumo de energia elétrica aumentou mais de duas vezes e meia, aumentando também a sua percentagem no consumo energético global para cerca de 18% em 2004.
- A eficiência energética (quantificada como o rácio entre energia final e energia primária) decresceu 7% devido ao aumento de consumo de energia elétrica.
- As intensidades energéticas (consumo energético a dividir pelo PIB) final e primárias caíram devido à maior taxa de crescimento do PIB em relação à do consumo energético, o que se traduz, em termos globais, num aumento da eficiência energética.

Em suma pode referir-se que fatores como a globalização e a melhoria das condições de vida nas regiões emergentes aumentaram a pressão sobre os recursos energéticos que, continuando ao mesmo ritmo, culminará no esgotamento dos combustíveis fósseis e produzirá impactos ambientais sérios. Deste ponto de vista, o sistema socioeconómico atual será insustentável pela pressão excessiva que coloca nos recursos energéticos mundiais [4].

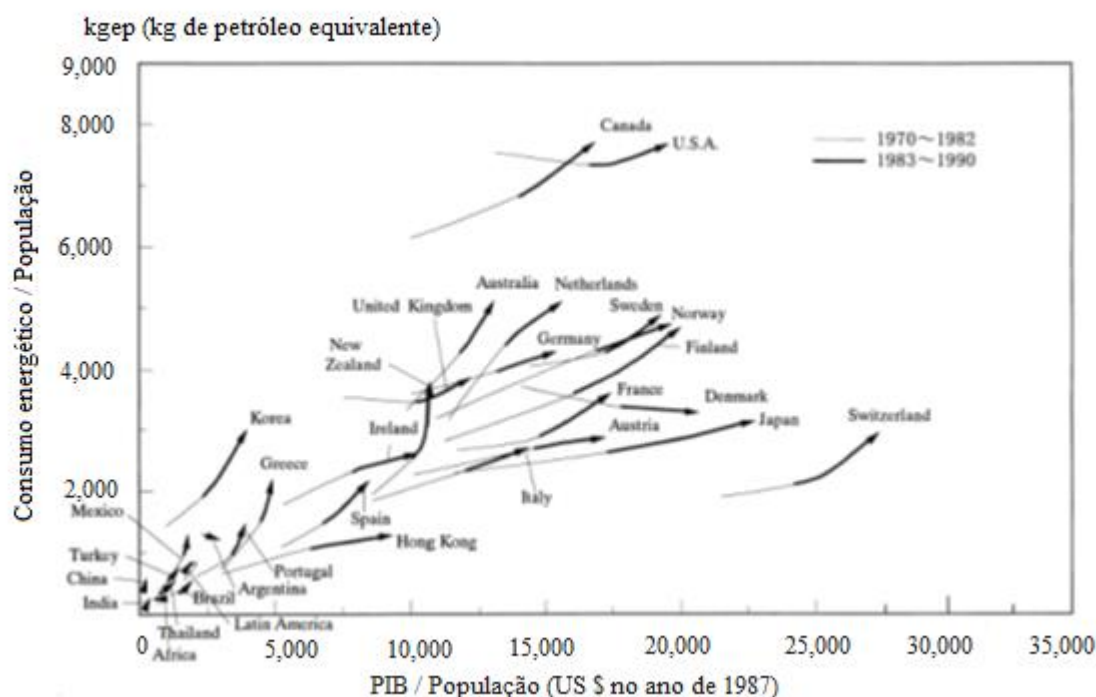


Figura 2 – Evolução do consumo energético *per capita* com o PIB em 29 países e 2 regiões[3]

O estudo dos consumos a nível industrial e comercial adquire assim extrema relevância, pois são estes os grandes responsáveis pelo aumento dos consumos energéticos a nível nacional. Assim, para garantir a redução destes, deve-se atuar em ambos os setores por via do aumento da sua eficiência energética, contribuindo para a mudança de paradigma energético necessária à sustentação do atual estilo de vida da sociedade.

Particularmente, o setor dos edifícios corresponde a cerca de 20 a 40% dos consumos totais de energia primária, adquirindo uma relevância equiparada aos transportes ou mesmo à indústria. Esta contribuição significativa deve-se ao crescimento populacional, à melhoria dos serviços e condições de vida e ainda ao aumento de tempo passado no interior dos edifícios já que constituem fatores que contribuem para o aumento do consumo energético. O domínio dos edifícios pode ainda ser subdividido em dois sectores: o residencial ou doméstico e o de serviços. No último englobam-se edifícios públicos e comerciais como escolas, restaurantes, hotéis, hospitais, museus, entre outros. Neste tipo de edifícios existem inúmeras atividades que consomem recursos energéticos. As mais relevantes são o sistema AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado), o aquecimento de águas sanitárias, a iluminação, refrigeração ou ainda a preparação de refeições. Na Figura 3 podem encontrar-se dados relativos à distribuição percentual dos vários consumos em função da finalidade para diversas tipologias de edifícios de serviços nos Estados Unidos da América [4].

A partir da figura pode então concluir-se que os sistemas AVAC são os grandes consumidores energéticos em todos os tipos de edifícios. Importa ainda conhecer dados relativos à distribuição percentual de consumos energéticos entre os vários tipos de edifícios de serviços. Consulte-se a Tabela 1 para informação sobre este tópico.

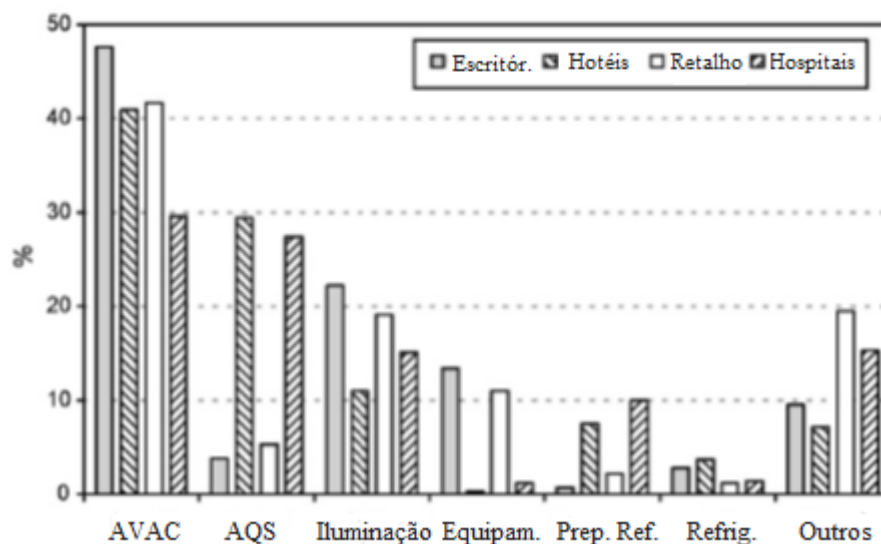


Figura 3 – Consumo energético em função da finalidade para várias tipologias de edifícios, Fonte: U.S. Energy Information Administration (EIA) [4]

Tabela 1 – Utilização energética no sector comercial por tipologia de edifício para vários países [4]

Tipo de edifício	EUA (%)	Espanha (%)	Reino Unido (%)
Comércio	32	22	22
Escritórios	18	33	17
Hotéis e restaurantes	14	30	16
Escolas	13	4	10
Hospitais	9	11	6
Lazer	6	-	6
Outros	9	-	23

Os edifícios de comércio são, tendo em conta os dados apresentados, os que consomem mais energia nos três países considerados.

Considerando por outro lado o consumo na União Europeia, o sector dos edifícios (residencial e de serviços) é responsável por cerca de 40% do consumo total de energia primária. Deste valor, o consumo por parte dos edifícios de serviços adquire uma fatia de 40%. A repartição percentual típica das utilizações de energia em cada um dos tipos de edifícios (residencial e de serviços) pode ser consultada na Figura 4 [5].

Mais uma vez se confirma que o grande utilizador de recursos energéticos em edifícios é o sistema AVAC já que é este o responsável pelo aquecimento, arrefecimento e ventilação dos espaços.

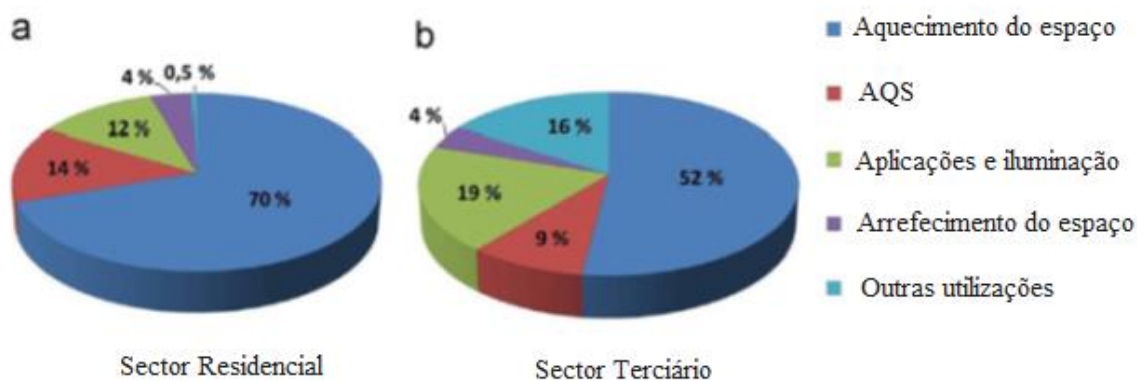


Figura 4 - Esquema das utilizações energéticas em edifícios residenciais e de serviços na União Europeia em 2001 [5]

O aumento contínuo do consumo energético (e consequentemente das emissões de CO₂) tem colocado pressão sobre os recursos fósseis, já que estes existem em quantidades limitadas. No sentido de diminuir esta dependência, têm sido adotadas medidas de incentivo à implementação de sistemas de geração de energia recorrendo a fontes de energia renováveis como, por exemplo, a solar, eólica ou biomassa [6]. De forma resumida, podem enumerar-se quatro tipos de medidas que têm sido implementadas a nível nacional e internacional com o objetivo de reduzir o consumo energético mundial e consciencializar as populações para esta questão [5]:

- Campanhas de sensibilização quanto às questões ambientais derivadas do impacto do consumo energético excessivo, nomeadamente no que toca à utilização de combustíveis fósseis como fonte de energia primária bem como a adoção de comportamentos mais “amigos do ambiente”, como o consumo racional de energia elétrica por parte dos utilizadores;
- Adoção de princípios, cada vez mais exigentes de eficiência energética nos projetos de novos edifícios, bem como a introdução de medidas com o mesmo objetivo no caso de reabilitações a edifícios existentes;
- Otimizar a utilização energética em sistemas de aquecimento e arrefecimento, por exemplo através da implementação de fontes de energia renováveis ou novas tecnologias;
- Implementação de sistemas de monitorização contínua e controlo que permitam uma gestão em tempo real dos consumos energéticos e consequentemente possibilitem o ajuste do consumo às necessidades, em cada momento.

Como exemplo desta preocupação com os consumos energéticos existe a implementação, nos estados-membros da UE, da nova diretiva europeia sobre a performance energética em edifícios (EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*) que tem objetivos de aumento da eficiência energética dos edifícios até 2020. Especificamente, em 2020 as emissões de CO₂ devem ser reduzidas em 30% relativamente aos níveis de 1990 [7].

2.1.1 Eficiência Energética

O conceito de eficiência energética é genérico, não existindo uma definição objetiva e inequívoca para o mesmo [8]. Normalmente e na generalidade, refere-se ao rácio entre um dado *input* e um *output*, o que faz com que a verdadeira questão na definição de eficiência energética recaia sobre o que considerar como *inputs* e *outputs*.

Segundo [8] existem quatro tipos de indicadores de eficiência energética:

- Indicadores termodinâmicos – assentam apenas em rácios entre quantidades termodinâmicas como, por exemplo, a entalpia;
- Indicadores físico-termodinâmicos – podem ser encarados como indicadores híbridos que consideram um *input* sob a forma de uma quantidade termodinâmica e um *output* como uma quantidade física (exemplo quilograma por variação de entalpia, ou seja kg/kJ).
- Indicadores económico-termodinâmicos – similares aos físico-termodinâmicos no entanto o *output* é uma quantidade monetária.
- Indicadores económicos – as melhorias de eficiência energética traduzem-se por um valor monetário.

Consulte-se [8] para informação mais detalhada sobre este tema.

No que toca à análise de eficiência energética em edifícios, o parâmetro normalmente utilizado para comparação entre edifícios é a performance energética. Este consiste no rácio entre os *inputs* em termos energéticos (consumo energético do edifício) e como *output* a sua área útil, constituído portanto um indicador físico.

Um melhoramento da eficiência energética em edifícios traduz-se assim numa redução da procura energética, o que por si provoca poupanças de recursos energéticos bem como uma redução nas emissões de dióxido de Carbono [9]. Todos estes fatores traduzem-se ainda num melhoramento da performance energética dos edifícios.

Existem várias medidas que contribuem para um aumento da eficiência energética. Segundo [9] destacam-se: a formulação de políticas energéticas, avaliação e monitorização de consumos, análise de ciclo de vida, simulação de desempenho energético de edifícios ou ainda a utilização de materiais de construção de baixo teor energético.

Na Figura 5 podem consultar-se sob a forma de resumo os vários parâmetros a ter em conta em cada um dos fatores enunciados.

No que diz respeito à formulação de políticas energéticas, deve-se ter em conta que a localização do edifício influencia a natureza, a forma e a quantidade de energia consumida. Porém, não se deve descuidar a influência que os recursos naturais disponíveis, o estado avançado ou não a nível tecnológico, a população, a cultura e o próprio PIB (produto interno bruto) das nações possuem sobre os consumos energéticos num dado local [9]. Assim as medidas políticas ou regulamentos energéticos a implementar devem também variar consoante o contexto em que se inserem.

No capítulo da monitorização e avaliação de consumos energéticos deve-se ter em conta que a eficiência energética nos edifícios pode ser conseguida através da utilização de inúmeros mecanismos dos quais se destacam: criação de uma mentalização entre o público-alvo, atribuição de benefícios fiscais como incentivos à eficiência energética ou ainda através do desenvolvimento tecnológico.

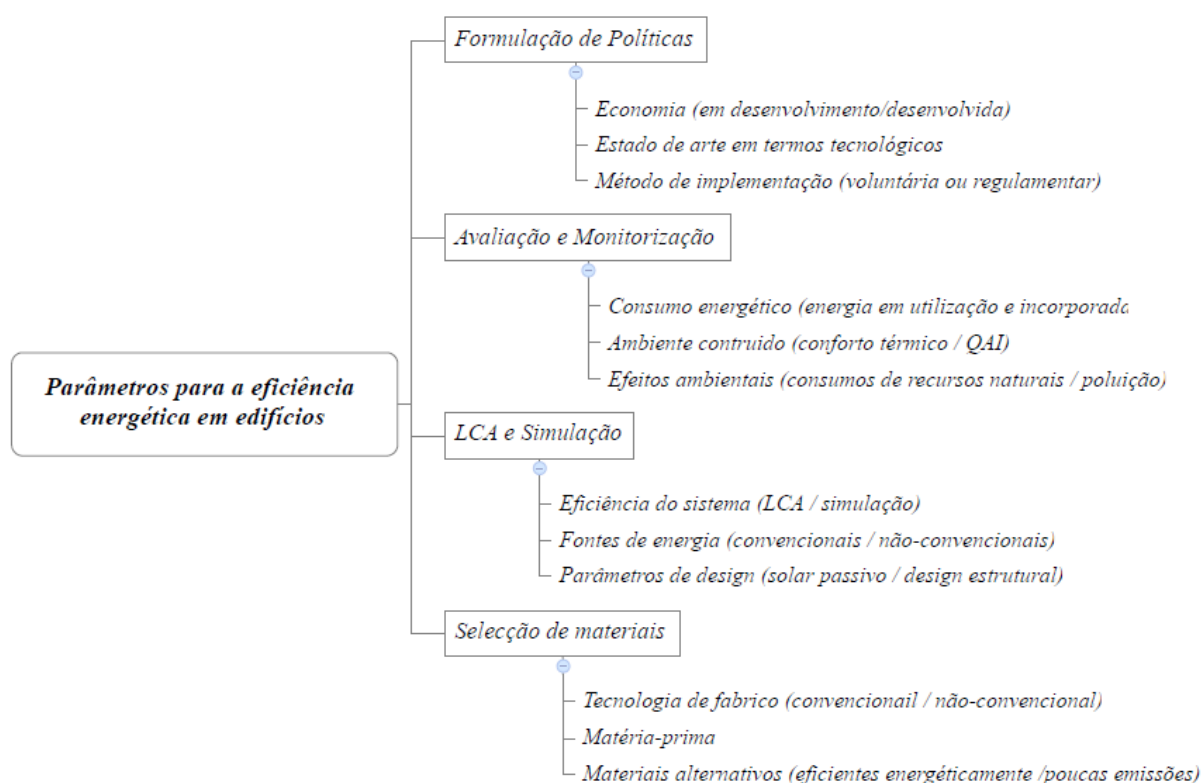


Figura 5 – Quadro explicativo dos parâmetros a ter em conta na avaliação da eficiência energética de edifícios[9]

Surgem assim vários sistemas de classificação (consulte-se a Tabela 2 para informação sobre sistemas de classificação em utilização em vários países) que se podem catalogar genericamente como sistemas de pontos (atribuem uma classificação em termos de pontos a cada edifício), índice de performances (atribui uma classificação consoante a performance energética do edifício) ou ainda sistemas de consciencialização [9].

Analisando o impacto de todo o ciclo de vida no melhoramento da eficiência energética, o estudo apresentado em [10] divide este tipo de análise num edifício em nove fases: a construção, o equipamento, a construção de equipamentos/acessos exteriores, o transporte de materiais, a utilização, o tratamento de desperdícios inerentes à atividade, a gestão da propriedade, a demolição e finalmente a alienação dos detritos. Cada etapa deve ser analisada independentemente para que se obtenha uma estimativa da eficiência energética do edifício em estudo ao longo de todo o ciclo de vida.

Devido à grande escala, complexidade em termos de materiais e funções, dinâmica temporal e processos de produção não standardizados, a análise ao ciclo de vida dos edifícios é muitas vezes difícil [9]. Considerando a fase da vida útil (utilização do mesmo), os fatores determinantes para a eficiência energética serão o consumo de energia em iluminação, ventilação, aquecimento e equipamentos [9]. É nesta fase que a simulação do comportamento do edifício toma importância, pois permite analisar parâmetros específicos e a sua influência na performance energética (consumo total de energia do edifício).

A energia utilizada num edifício pode classificar-se em dois tipos: a energia utilizada para as várias atividades desenvolvidas ou a energia incluída nos próprios materiais que o

constituem. Este último não é desprezável, representando uma parte importante do consumo energético associado ao próprio edifício (quer na fase de construção quer na de vida útil já que as paredes acumulam energia por via da incidência de radiação solar que depois será libertada para o ambiente).

Tabela 2 – Sistemas de classificação de eficiência energética em vigor[9]

<i>Nome</i>	<i>Localização, Ano</i>	<i>Principais Características</i>	<i>Avaliação do Sistema</i>
BREEAM (Building Research Establishments' Environmental Assessment Method)	Reino Unido, 1990	Critérios básicos: Gestão, Saúde e Bem-estar, Energia, Transportes, Água, Ecologia	Aprovado, Bom, Muito Bom, Excelente
GB Tool	Comité internacional para o desafio dos edifícios verdes, 1998	Critérios básicos: Desenvolvimento de Projeto, Cargas Ambientais e Funcionalidades	Histogramas detalhados e abrangentes, classificação de 1 a 5 pontos
LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	Estados Unidos da América, 1998	Impactos ambientais específicos do utilizando uma aproximação à sustentabilidade do edifício	Certificado (40%), Prata (50%), Ouro (60%), Platina (80%)
CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency)	Japão, 1998	Qualidade ambiental da construção e performance, cargas ambientais	Diagrama em teia de aranha, histogramas e gráfico BEE (<i>Building Environmental Efficiency</i>)
Green Globes	EUA, Canadá, 2004	Duas fases: fase conceptual e fase de documentação da construção	Globos de 1 a 4 (1 – 35 a 54%, 2 – 55 a 69%, 3 – 70 a 84%, 4 – + 85%)
GRIHA (Green Rating for Integrated Habitat Assessment)	Índia, 2007	Avalia a sustentabilidade de um edifício holisticamente ao longo de todo o ciclo de vida	1 a 5 estrelas

Portanto a escolha dos materiais a incorporar deve ser criteriosa [9]. Segundo [11], a energia contabilizada nos materiais representa cerca de 40% da energia total necessária a uma vida útil de 50 anos do edifício, sendo que com uma escolha adequada de materiais, poderia ser reduzida em 17%. A energia contida nos materiais depende do processo de fabrico, disponibilidade de recursos, eficiência de produção e da quantidade de material utilizado na

construção. Para que esta seja efetivamente reduzida, os esforços deverão centrar-se em materiais utilizados em grande escala no edifício, como por exemplo tijolos ou cimento [9].

2.1.2 Performance energética

O conceito de performance energética de edifícios foi introduzido, pela primeira vez na regulamentação europeia, na diretiva 2002/91 e refere-se à utilização de energia por parte do edifício. O princípio baseia-se no rácio entre *inputs* de utilização energética e *outputs* de serviços. O mais utilizado é unidade de energia utilizada por metro quadrado de área interior do edifício [12].

As medidas de melhoramento da performance energética de um edifício são as mais efetivas para a redução de emissões nocivas ao ambiente. Entre estas destacam-se as seguintes: reduzir o consumo, aumentar a eficiência energética dos componentes, utilizar energia proveniente de fontes não emissoras de carbono ou ainda mudar o abastecimento para fontes de energia não-convencionais [9].

Segundo [9], se se pretender aumentar a performance energética através do aumento da eficiência energética do próprio edifício, este objetivo pode ser conseguido dividindo o processo em quatro fases diferentes:

- Estabelecimento de regulamentos/normas a nível nacional e internacional com limites mínimos aceitáveis para a eficiência energética em edifícios;
- Ter em atenção a eficiência energética desde as fases de conceção até ao fim de vida;
- Aumentar a eficiência energética nos processos de construção do próprio edifício;
- Utilizar equipamentos com elevada eficiência energética.

As ferramentas que os decisores possuem para que seja possível um efetivo aumento da eficiência energética serão a formulação de políticas a aplicar ao edifício, a monitorização dos consumos energéticos, a avaliação dos consumos e ainda aumentar a eficiência energética do próprio edifício. Como resultados da gestão destes parâmetros pretende-se obter uma redução das emissões poluentes bem como poupanças económicas derivadas de um menor consumo energético [9].

2.1.2.1 Índices de Performance energética (EPI)

Em termos práticos, para o cálculo da performance energética em edifício adotam-se índices que poderão depois ser comparados entre vários edifícios e que se intitulam de forma geral por EPIs (*Energy Performance Indicators*).

No presente capítulo serão apresentados seis índices diferentes. O primeiro é o índice ESH [13] e que é dado pela relação expressa na equação (2.1):

$$ESH = \frac{E}{S \cdot H} \left[W/m^2 \right] \quad (2.1)$$

Em que E simboliza a energia total consumida durante um mês em $W \cdot h$, S representa a área total do edifício (m^2) e H inclui as horas num mês. Conforme se poderá depreender este

fator indica o consumo global de energia por unidade de área do edifício. É o indicador mais utilizado no que diz respeito a investigação em eficiência energética bem como para comparação entre edifícios. [13]

O segundo índice é o $E_U SH_U$, dado pela expressão (2.2):

$$E_U SH_U = \frac{E_U}{S \cdot H_U} [W/m^2] \quad (2.2)$$

Em que o índice U designa “utilização”, portanto este índice representa o consumo energético quando o edifício está ocupado. [13]

Por oposição a este último, existe o fator $E_{NU} SH_{NU}$, apresentado na equação (2.3):

$$E_{NU} SH_{NU} = \frac{E_{NU}}{S \cdot H_{NU}} [W/m^2] \quad (2.3)$$

Em que o índice NU designa os períodos de não-ocupação. Assim, este fator poderá ser importante no que toca à previsão de comportamentos de consumos desadequados em períodos de não-utilização do edifício, nomeadamente períodos noturnos ou feriados.[13]

No entanto nem sempre interessa apenas determinar a energia consumida por unidade de área. Interessa encontrar parâmetros que permitam detetar quando é que energia está a ser desperdiçada ou não, daí surge o fator $E_U UH_U$ dado pela expressão (2.4):

$$E_U UH_U = \frac{\sum_{i=1}^{dU} E_{U_i} / U_i}{H_U} [W/m^2] \quad (2.4)$$

E_{U_i} consiste na energia consumida quando o edifício está ocupado, dU é o número de dias em que o edifício está ocupado num mês e U_i é o número médio de utilizadores num dia. Caso este fator seja muito elevado, ou seja, existir muito consumo para poucos utilizadores, pode detetar-se que potencialmente existirá desperdício de energia. [13]

Quanto aos consumos do sistema AVAC do edifício, temos o parâmetro $AE_U V_A H_U$, expressão (2.5):

$$AE_U V_A H_U = \frac{AE_U}{V_A \cdot H_U} [W/m^3] \quad (2.5)$$

Onde AE_U ($W \cdot h$) representa a energia consumida pelo sistema de ar-condicionado durante um mês, V_A (m^3) é o volume de climatizado do edifício e H_U , conforme enunciado, designa as horas de utilização num mês. Este indicador traduz então o consumo de energia associado ao sistema AVAC por unidade de volume. [13]

Uma vez que os consumos associados ao ar-condicionado são uma parte muito significativa dos consumos energéticos em edifícios (aproximadamente 56%, conforme apresentado na Figura 4), interessa explorar mais detalhadamente a sua performance, daí surgir o índice $KA E_U V_A H_U$, expressão (2.6):

$$KA E_U V_A H_U = \frac{\sum_{i=1}^{dU} AE_{U_i} K_{T_i}}{V_A \cdot H_U} \left[W/m^3 \right] \quad (2.6)$$

Em que K_{T_i} é calculado com base na expressão (2.7), considerando a temperatura exterior. Pode ainda verificar-se na Figura 6 a evolução do coeficiente com a temperatura. Este é então um índice associado também à temperatura exterior [13].

$$K_T(T) = \frac{10}{|T - 22| + 10} \quad (2.7)$$

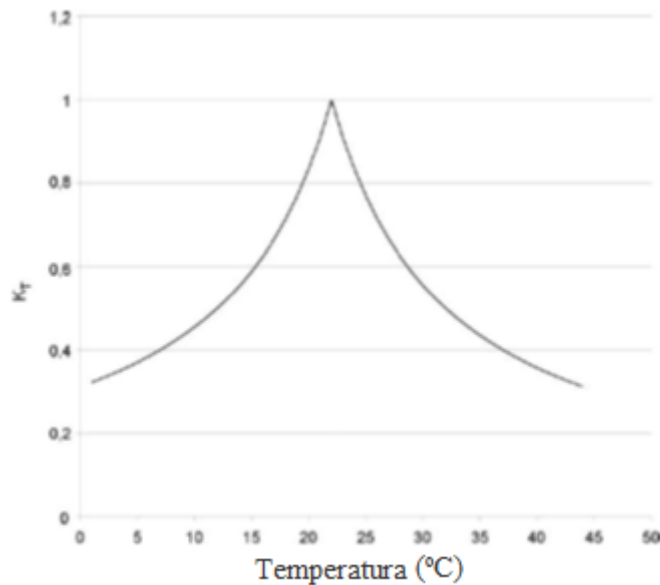


Figura 6 - Coeficiente de temperatura, K_T , em função da temperatura[13]

A análise destes fatores em separado, apesar de útil, não transmite intuitivamente uma ideia geral daquilo que é a performance energética do edifício, daí que tenha surgido o parâmetro ERF (*Energy Rating Factor*) que traduz uma combinação dos seis fatores enumerados em que a cada um deles foi atribuído um peso relacionado com a sua relevância. Sistemas em que o consumo fora de horas seja elevado, em que haja um elevado consumo por pessoa ou ainda sistemas AVAC ineficientes serão prejudicados. Cada um dos índices deve ser normalizado numa escala de 0 a 1 através da consideração da distribuição normal associada à variável e que traduz o valor da frequência acumulada de ocorrências para cada um deles.[13] Assim, o ERF é dado pela equação (2.8):

$$ERF = 10 - \frac{10 \cdot \overline{ESH} + 10 \cdot \overline{E_U SH_U} + 25 \cdot \overline{E_U UH_U}}{10} - \frac{25 \cdot \overline{E_{NU} SH_{NU}} + 5 \cdot \overline{AE_U V_A H_U} + 25 \cdot \overline{KAE_U V_A H_U}}{10} \quad (2.8)$$

Quanto mais elevado (perto de 10) estiver o ERS, mais eficiente será o edifício.

2.1.2.1 Cálculo e previsão da Performance energética em edifícios

O cálculo da performance energética de um dado edifício deve seguir três passos base [14]:

1. Determinação das necessidades energéticas do edifício;
2. Determinação da energia que se deve fornecer ao sistema para que as necessidades do edifício sejam supridas;
3. Converter a energia consumida pelo sistema em energia primária.

No primeiro ponto, devem ser consideradas as características do edifício, nomeadamente a sua envolvente, finalidade, perfil de utilização e localização geográfica. No segundo ponto, devem considerar-se as características relevantes de eficiência do sistema. Em último dever-se-á ter em conta o *mix*-energético do país em que o edifício se localiza, para que se possam converter as diferentes energias consumidas em energia primária. Este passo serve como uniformização dos diversos consumos de energia, tornando-os comparáveis. Tipicamente, a unidade de energia primária utilizada é o *kgep* (quilograma de petróleo equivalente).

Em termos práticos, existem três tipos de dados que se podem utilizar para a previsão da performance [15]:

1. Simulações computacionais do edifício recorrendo a dados de *input* recolhidos em auditoria ao mesmo;
2. Dados de consumo baseados em faturas energéticas;
3. Medições *in situ* de consumos energéticos.

No primeiro caso, os resultados obtidos serão sensíveis às propriedades físicas e dimensões geométricas do edifício em estudo. Porém, como não se baseia em dados de consumos reais, mas sim aproximações, os resultados estarão limitados pelas considerações realizadas [16].

A segunda opção, dados de consumo baseados em faturas energéticas mensais, tem a vantagem de ser a mais simples de aplicar, bastando para tal a consulta das faturas. No entanto tem desvantagens como o facto de qualquer influência sobre o consumo que tenha uma duração inferior a um mês ser diluída na média, o que dificulta a sua deteção. Por outro lado, limita-se a dividir o somatório de energia consumida durante um mês pela unidade de área, o que torna impossível detetar as relações entre o consumo e fatores como o projeto do edifício, as condições de operação ou as condições climáticas [16].

Comummente, as duas primeiras são as alternativas mais utilizadas visto que a opção pela monitorização é a mais dispendiosa por requerer longos períodos de registos da temperatura exterior, radiação solar, temperatura interior e potência de aquecimento bem como dos próprios consumos, o que implica gastos financeiros e de tempo [15]. Contudo, pela sua natureza de registo dos consumos efetivos, a monitorização terá um grande potencial como forma de análise do desempenho do edifício e na identificação de melhorias a implementar [15].

O processo de monitorização, como o próprio nome indica, implica que se monitorize a evolução de uma dada componente durante um dado período de tempo. O tratamento destes dados pode ser realizado de duas formas distintas: através da aplicação de uma regressão estatística que correlacione componentes medidas ou ainda através da aplicação de um modelo dinâmico em que os dados observados consistem no ponto de partida. Esta última forma é vantajosa porque traduz o comportamento dinâmico do edifício, no entanto, os parâmetros determinados para que o modelo se vá ajustando aos dados recolhidos podem, muitas vezes, não ter significado físico. Os processos matemáticos associados a esta metodologia são complicados e os modelos são muito sensíveis a perturbações ou ruídos que não são medidos diretamente [15].

O caso da regressão estatística é utilizado frequentemente para determinar correlações entre quantidades medidas, por exemplo entre a temperatura interior e exterior, com o objetivo de determinar constantes como o coeficiente global de transferência de calor (*U-value*) ou a abertura solar do edifício. Estes parâmetros são úteis na caracterização do edifício em análise e são utilizados muitas vezes como forma de comparação entre diferentes edifícios [16].

Quanto à previsão da performance energética de um edifício, podem destacar-se três métodos que condizem com as formas de determinação de performances já enunciadas na presente secção (regressão estatística e modelos dinâmicos). De seguida serão exploradas em maior detalhe.

2.1.2.1.1 Métodos Físicos

Os modelos físicos, também chamados métodos “*White box*”, baseiam-se na resolução de equações que descrevem as transferências de calor envolvidas no edifício de forma detalhada [5]. Podem ser utilizados em qualquer tipo de edifício e geralmente modelam alguns ou todos os componentes seguintes [5]:

- Aquecimento ambiente;
- Ventilação Natural;
- Sistemas de ar condicionado;
- Soluções solares passivas;
- Soluções fotovoltaicas;
- Comportamento dos ocupantes;
- Condições climatéricas.

De uma forma simples e genérica, as equações que governam estas transferências de calor podem ser representadas pela equação (2.9) [5]:

$$\phi_{ent} + \phi_{fc} = \phi_{sai} + \phi_{arm} \quad (2.9)$$

Em que ϕ_{ent} simboliza o fluxo de calor de entrada, ϕ_{fc} simboliza o fluxo de calor proveniente de uma fonte de calor interna, ϕ_{sai} representa o fluxo de calor que sai do sistema considerado e ϕ_{arm} subentende o calor armazenado no sistema.

Os principais mecanismos que intervêm nos fluxos de calor de entrada e saída são a condução pelas paredes, a convecção natural entre o espaço interior e exterior e nas paredes, a incidência radiativa e a ventilação do espaço [5].

Com vista à consideração de todos os elementos supracitados, é indispensável que se recorra a uma ferramenta de *software* que permita o cálculo. Existem no mercado vários programas que permitem a simulação de edifícios, sendo que os problemas mais vezes reportados estão relacionados com a má adaptação dos *softwares* para considerarem as influências da mistura e com o facto de, geralmente, os efeitos do calor latente serem desprezados.

Atualmente, três tipos de modelos físicos são os mais utilizados, a saber o CFD (*Computational Fluid Dynamics*), multizona e zona [5].

O método CFD aproxima microscopicamente a transferência de calor permitindo detalhar o campo de escoamento através de uma aproximação tridimensional. Os programas CFD resolvem a equação de Navier-Stokes, permitindo assim uma descrição detalhada dos diferentes escoamentos de ar dentro do próprio edifício. No entanto, a simulação recorrendo a este método pode tornar-se extremamente trabalhosa. O *software* apresenta ainda problemas na modelação correta de regimes turbulentos [5]. Um exemplo prático da aplicação deste modelo na modelação da ventilação natural de um edifício pode ser encontrado na referência [17].

A aproximação por zonas consiste na primeira simplificação do método CFD, trazendo-o para uma situação bidimensional. O princípio base consiste na divisão do edifício em várias células ou zonas em que é possível realizar a representação da variação espacial de várias grandezas, nomeadamente da temperatura, pressão, concentração ou velocidade do ar [5]. Para mais informação sobre a aplicação deste método consulte-se [18].

Quanto ao método multizona, neste caso cada edifício é subdividido em várias zonas ou nodos em que cada uma é considerada como possuindo características uniformes. Cada zona é assim representada por um nó, sendo por isso considerado um método unidimensional [5]. Na referência [19] pode ser consultado um estudo em que se faz a aplicação deste método utilizando o *software* EnergyPlus® [20] e se conclui acerca das suas limitações.

2.1.2.1.2 Métodos Estatísticos

Comparados com os modelos físicos, os modelos estatísticos (ou métodos “*black box*”) têm a particularidade de não necessitarem de nenhuma informação em termos físicos. Este é implementado a partir de dados recolhidos sobre o sistema em questão e adapta-se a esses mesmos dados. Uma grande vantagem da aplicação de métodos estatísticos é o facto de não ser necessário muito conhecimento sobre o edifício nem sobre os fenómenos físicos em jogo para se conseguir atingir um modelo de previsão preciso [5].

Existem vários tipos de modelos estatísticos que serão de seguida brevemente descritos, nomeadamente o modelo da regressão linear múltipla, da rede neural artificial, o algoritmo genético e da máquina de vetor de suporte [5].

O princípio da regressão linear múltipla consiste em determinar uma variável Y em função de uma combinação linear das várias variáveis de *input* somadas com uma parcela de erro, ver equação (2.10) [5]:

$$Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot X_{i1} + \alpha_2 \cdot X_{i2} + \dots + \alpha_p \cdot X_{ip} + \epsilon_i \quad i \in [1, n] \quad (2.10)$$

Com n a representar a quantidade de dados recolhidos, p o número de variáveis a considerar e α_0 uma constante.

Este método tem como vantagem o facto de não requerer experiência técnica para o aplicar, dada a simplicidade dos conceitos implicados. No entanto, tem a desvantagem de não conseguir traduzir problemas não-lineares [5]. Em [21] poder-se-á consultar a aplicação deste modelo ao caso prático da determinação dos consumos energéticos no sector bancário espanhol.

Um outro modelo é o do algoritmo genético, que consiste num modelo que recorre a uma técnica de otimização estocástica desenvolvida por analogia com a teoria da evolução de Darwin. Assim, neste método, as variáveis de entrada são consideradas como genes que serão incluídos num único cromossoma. A informação é então codificada recorrendo a um método (binário, por exemplo). No que toca à simulação do edifício, pretende-se encontrar uma previsão do comportamento do mesmo. Assim, cada variável de entrada terá um peso na variável de saída final. É esse peso que se pretende otimizar [5]. Na Figura 7 pode verificar-se as sequências de passos na aplicação do algoritmo. Para informação sobre a aplicação prática do Algoritmo Genético consulte-se [22].

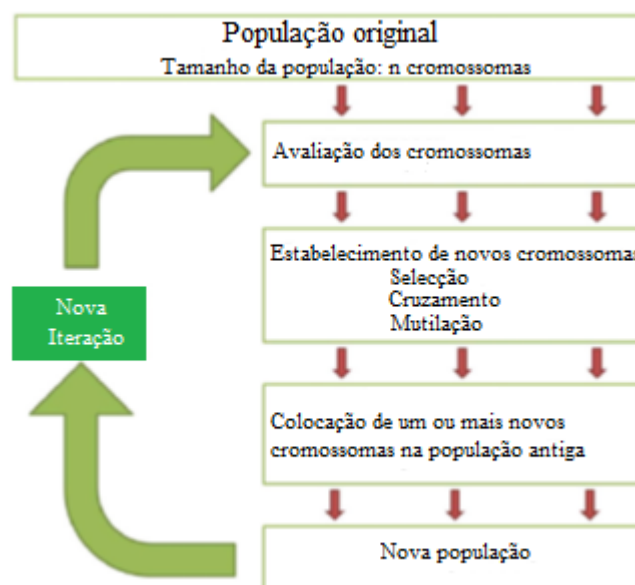


Figura 7 – Esquema geral de sequência de passos na aplicação do algoritmo genético.[5]

A rede neural artificial é um método de inteligência artificial utilizado sobretudo para previsão que é baseado no funcionamento do sistema nervoso central [5]. Cada variável de

entrada é encarada como um neurónio que terá um dado peso a ele associado. As variáveis e o seu peso serão somadas ponderadamente e ativam uma função que por sua vez conduzirá à ativação da variável de saída (ver Figura 8). Em [23] pode consultar-se um caso prático do método.

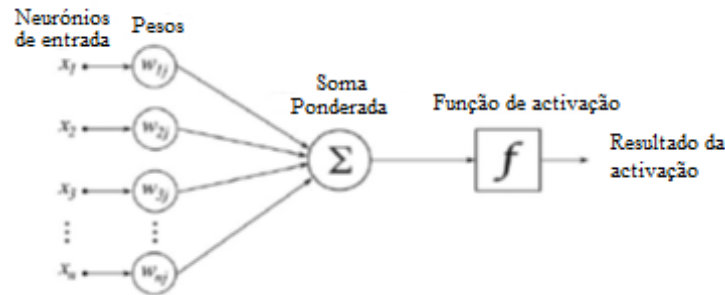


Figura 8 - Esquema de uma camada de neurónios com a aplicação da função de ativação[5]

Por último, pode-se ainda considerar um outro método estatístico de previsão da performance energética, que se intitula método da máquina de vetor de suporte. Este tem como objetivo encontrar uma generalização ótima do modelo, promovendo assim a dispersão dos resultados. O princípio em que assenta é na linearização da relação entre as variáveis de entrada e de saída através de formulações matemáticas complexas. Tem como principal vantagem a necessidade de se considerarem poucos parâmetros e não ser explícita a relação entre eles (por oposição ao método da rede neural artificial em que é necessário definir todas as relações). A dificuldade prende-se com a formulação matemática [5]. Em [24] é usado um método deste tipo para prever o consumo elétrico nacional da Turquia.

2.1.2.1.3 Modelos Híbridos

Também chamados de modelos “Grey box”, vêm conjugar os dois tipos de métodos vistos atrás de forma a contornar as suas maiores desvantagens. Nomeadamente no que toca aos métodos físicos, é difícil recolher os dados necessários à aplicação da metodologia em edifícios já construídos, assim como descrever de forma precisa e realista todos os processos físicos envolvidos no processo de transferência de calor. A maioria destes processos é bem conhecida e descrita, no entanto permanecem alguns mecanismos envoltos em aproximações e considerações. Pode-se tomar como exemplo a ventilação natural, já que é normalmente descrita por relações empíricas. Já os métodos estatísticos têm a desvantagem de necessitar impreterivelmente de informação em grande quantidade e os seus resultados muitas vezes são difíceis de interpretar à luz dos conceitos físicos. Como a recolha de informação se dá para um edifício específico, não é possível generalizar os resultados, o que constitui outra desvantagem desta aproximação [5].

Assim, para se ultrapassarem todas as dificuldades descritas, a solução passa pelo compromisso entre os dois modelos, havendo para tal diversas metodologias disponíveis. Uma dessas aproximações utiliza o algoritmo genético como forma de estimar os parâmetros físicos para depois ser aplicado o modelo de zonas. Outra forma de conseguir o objetivo considera modelos estatísticos onde os físicos têm dificuldades. Por exemplo, determina o comportamento térmico num edifício multizona, em que as características térmicas de algumas zonas são desconhecidas [5].

Uma das grandes vantagens da aplicação deste método é que permite a consideração de uma quantidade limitada de informação e ainda o facto de apenas serem requeridos limites

para os valores dos parâmetros físicos. Também a descrição do edifício é mais simples e apesar disso os resultados têm significado físico concreto [5].

2.1.2.2 Melhoria da performance energética

Melhorar a performance energética é o equivalente a diminuir os consumos energéticos associados ao edifício. Vários parâmetros condicionam de forma decisiva este objetivo e há várias formas de os melhorar.

De uma forma geral, existem dois casos: o do melhoramento da performance energética em edifícios já existentes e a construção de novos edifícios de raiz já com preocupações relativamente a essa mesma performance. Antes de passar à análise dos fatores que impactam a performance energética em edifícios já existentes, que será o objeto de estudo aprofundado da presente dissertação, apresentar-se-á uma contextualização dos fatores dominantes e a ter em conta na construção de um edifício. Assim, em [25] foi realizado um estudo que consiste na simulação dinâmica recorrendo ao *software* TRNSYS de diversos parâmetros e verificação do seu impacto na performance energética do edifício simulado (edifício de habitação).

Quanto à ventilação, foi testada a hipótese de redução das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento anuais através da instalação de um sistema de ventilação que ventilasse o espaço com ar exterior sempre que a temperatura exterior fosse, no Verão, inferior à temperatura interior e, no Inverno, superior. No que toca à redução da carga de aquecimento, os resultados não foram positivos já que apenas durante um espaço de tempo muito curto ao longo do ano a temperatura exterior durante a estação de arrefecimento é superior à interior. Já quanto à estação de arrefecimento, os resultados foram interessantes e podem verificar-se na Figura 9. Conforme se pode observar, o efeito conseguido através da alteração da taxa de ventilação também varia com o isolamento do edifício, sendo que no estudo referido se comprova que a eficácia de ventilação aumenta com o aumento da espessura de isolamento [25].

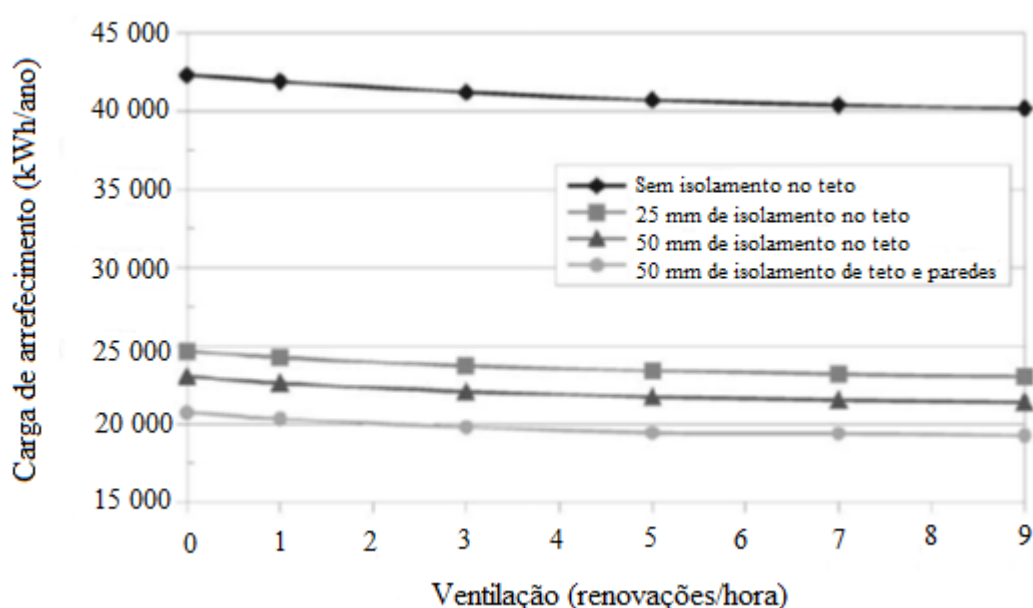


Figura 9 – Efeito da ventilação na carga de arrefecimento de uma habitação com temperatura interior de 25°C [25]

Conclui-se que será proveitoso possuir um sistema que permita o aumento da ventilação mecânica quando a temperatura exterior é inferior à interior já que permite uma poupança, que no caso em estudo atingiu 7,7% [25].

No que diz respeito ao tipo de envidraçado, foram testados dois tipos (vidros duplos refletos em bronze e vidros duplos de baixa emissividade também em bronze) por comparação com um vidro duplo claro. Ambas as opções permitem poupanças energéticas pela redução do coeficiente U (coeficiente de transferência de calor) e portanto diminuição nas perdas térmicas. No entanto, pela diminuição do coeficiente τ (transmitância), também a radiação solar que de outra forma entrava na sala é diminuída. Este facto faz com que seja necessária uma maior potência de iluminação instalada bem como um aumento na carga de aquecimento. Assim, as várias opções quanto aos envidraçados a aplicar devem ser ponderadas a nível económico, tendo em conta as poupanças mas também os agravamentos derivados das escolhas para cada caso [25].

Outra das formas de controlo da radiação incidente é recorrer-se ao sombreamento dos envidraçados, o que diminui, nas épocas mais quentes, a radiação incidente, diminuindo os ganhos diretos pelo envidraçado e reduzindo, assim, a carga de arrefecimento. No estudo apresentado em [25] compararam-se resultados para diferentes comprimentos de sombreamento (o dispositivo sombreador considerado foi uma pala colocada 0,5 m acima da janela e com 1 m de extensão relativamente a cada uma das laterais da janela), concluindo-se que à medida que aumenta o comprimento da projeção do sombreamento sobre o envidraçado, como esperado, diminui a carga de arrefecimento. No entanto a carga de aquecimento aumenta já que no Inverno em que a incidência solar seria um fator positivo, ela também será reduzida pelo sombreamento [25]. Na Figura 10 apresentam-se os resultados do estudo apresentado.

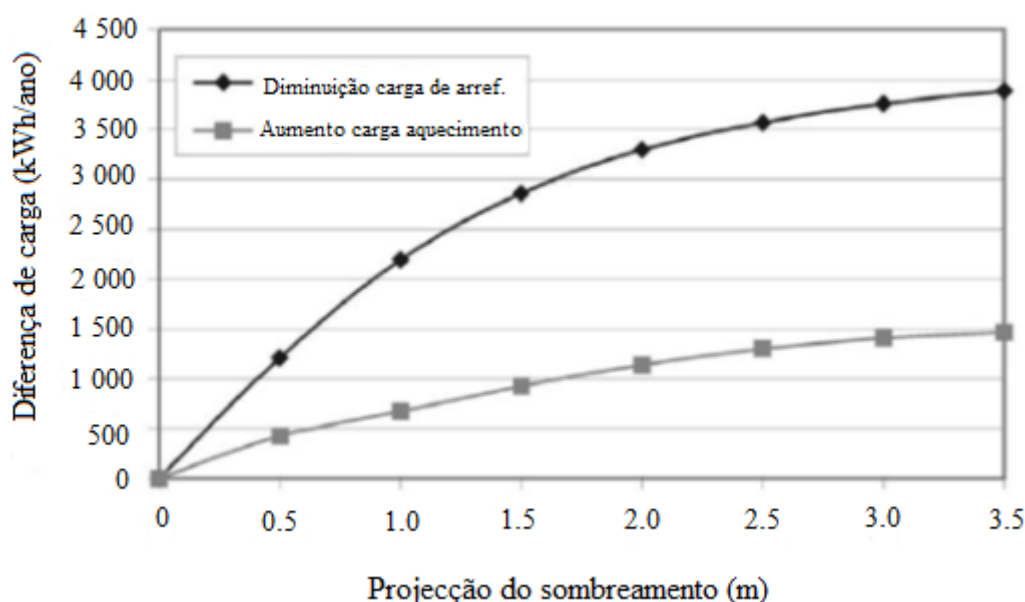


Figura 10 – Diferença anual de cargas em função da projeção do sombreamento no envidraçado

Assim conclui-se que a estratégia mais proveitosa seria colocar sombreamentos longos no Verão que fossem retrácteis no Inverno podendo esta estratégia traduzir-se em cerca de 25% de ganhos em termos de carga de arrefecimento [25].

Outro dos fatores decisivos no que toca às cargas de aquecimento do edifício consiste na forma e orientação do mesmo. Um dos índices mais usados na caracterização da taxa a que o edifício aquecerá durante o dia e arrefecerá durante a noite é o rácio entre o volume e a área

da superfície exposta do edifício. Estando o volume ligado à capacidade de armazenamento de energia e a área da superfície exposta à taxa de transferência de calor com a vizinhança, conclui-se que caso se pretenda que o edifício aqueça lentamente, o rácio volume/área exposta deverá ser elevado pois a área exposta será pequena relativamente ao volume o que implica perdas reduzidas mas também menos ganhos solares [25].

No estudo apresentado em [25] concluiu-se que um rácio área/volume mais reduzido será o mais eficiente a nível energético e que a parede mais longa do edifício deve estar orientada a Sul para que se obtenha uma conjugação favorável de minimização da incidência de radiação solar no Verão e maximização dessa radiação no Inverno.

O último parâmetro apresentado é o da inércia térmica. A inércia térmica é a capacidade dos materiais que constituem a envolvente do edifício em armazenar os ganhos de calor. Este armazenamento pode traduzir-se numa diminuição da temperatura interna do edifício, na redução dos picos das cargas de aquecimento e arrefecimento ou no deslocamento temporal os máximos dessas cargas [25]. Um exemplo do efeito da inércia térmica é, durante a estação de arrefecimento, num dia em que a incidência solar é forte, a radiação incidente é armazenada sob a forma de calor nas paredes do edifício durante o dia. Ao anoitecer e à medida que a incidência de radiação decai, a temperatura no interior do edifício também cairá, o que faz com que o calor previamente armazenado nas paredes seja transferido para o interior do edifício, elevando a temperatura interior.

A inércia térmica será tanto maior quanto maior a densidade (ρ), capacidade térmica (C) e condutividade térmica (k), sendo o produto $\rho C k$ usado para qualificar a capacidade de armazenamento de calor da envolvente. Assim, se o produto enunciado for baixo, a capacidade de armazenamento será também baixa [25]. A profundidade a que chega o calor na envolvente depende da difusibilidade térmica, dada por $k/(\rho \cdot c_p)$ sendo que esta característica provoca o atraso temporal na transferência de calor típico das paredes [25]. Tempos típicos de atrasos temporais entre o pico de radiação incidente e o pico de radiação efetivamente transmitida ao interior do edifício são 10 horas para tijolo comum, 8 horas para betão e 20 horas para madeira [25].

Pode assim concluir-se que para diferentes orientações das paredes haverá a considerar diferentes inércias térmicas ótimas. No caso de uma parede orientada a Sul, um atraso de 8 horas será suficiente para atrasar o ganho do meio-dia para as 20 horas. Já numa parede orientada a Este, o atraso terá que ser, ou superior a 14 horas para atrasar os ganhos até ao anoitecer ou então muito curto para que os ganhos sejam imediatos. Normalmente a última opção é a mais utilizada devido aos menores custos que lhe estão associados [25]. A orientação a Norte não tem grandes exigências em termos de inércia térmica devido aos reduzidos ganhos solares inerentes a esta orientação. Na orientação a Oeste, um atraso de 8 horas é suficiente já que a radiação apenas incide nesta direção poucas horas antes do pôr-do-sol. No que diz respeito ao telhado, os tempos de atraso e portanto a inércia térmica devem ser elevados por estar exposto à incidência de radiação durante a maior parte do dia [25], no entanto a opção mais viável será o aumento do isolamento por não haver um tempo de atraso ótimo (a incidência de radiação ocorre durante todo o dia).

O desempenho da inércia térmica enquanto elemento que implica atraso temporal da energia transmitida para o edifício é também fortemente influenciada pela existência ou não de isolamento térmico [25]. Em climas onde o principal objetivo seja o aquecimento do espaço, o fator preponderante na envolvente será a existência de isolamento, que evita perdas

térmicas [25]. Já em climas em que seja mais necessário arrefecer, a inércia térmica assume uma maior importância pois permite que os ganhos térmicos diurnos possam ser dissipados durante o período noturno [25]. Outra estratégia à qual se poderá recorrer neste último caso é ventilação durante o período noturno com o ar exterior, já que estará a uma temperatura mais baixa que a do espaço a climatizar e portanto permite o arrefecimento das paredes e teto [25].

Todas as estratégias apresentadas terão, no entanto, que ser alvo de estudos específicos de impacto em cada local recorrendo, preferencialmente, a ferramentas de simulação que verifiquem sua efetiva vantagem.

Quanto ao desempenho energético em edifícios já existentes, segundo [26] será aconselhável aplicar um sistema de monitorização ao edifício de forma a previamente determinar os consumos e daí se poderem inferir possíveis melhorias.

2.2 A legislação Europeia para a performance energética nos edifícios enquanto resposta aos desafios internacionais

A União Europeia tem vindo a apresentar preocupações concretas na área da melhoria da eficiência energética dos edifícios. Nesse sentido, foi publicada em 16 de Dezembro de 2002 a primeira diretiva relativa ao desempenho energético de edifícios [27]. Esta diretiva, a aplicar em todos os estados-membros da União Europeia, tinha como principal objetivo a promoção do melhor desempenho energético em edifícios considerando fatores como as condições climáticas externas em cada local, as exigências em termos de clima interior, que são variáveis consoante a finalidade dos edifícios, e ainda a rentabilidade económica dos investimentos necessários à melhoria da eficiência [28].

Com a aplicação desta legislação foram estabelecidos requisitos que incluem o desenvolvimento de uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, aplicação de requisitos mínimos de desempenho energético em edifícios novos ou sujeitos a grandes renovações, necessidade de inspeções regulares a caldeiras e equipamentos ou instalações de ar-condicionado e ainda a execução de esquemas de certificação energética em edifícios [28].

Esta diretiva foi transposta para a legislação nacional através dos decretos-lei 78/2006 (SCE – Sistema de Certificação Energética), 79/2006 (RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios) e 80/2006 (RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios) de 4 de Abril.

Com a aplicação destes regulamentos passaram a existir uma série de requisitos novos nas duas tipologias de edifícios (residenciais e de serviços), que se passam a enumerar [28]:

Edifícios de serviços:

- Requisitos de consumo específico de energia primária;
- Requisitos de qualidade de ar interior;
- Auditorias periódicas aos consumos energéticos e à qualidade de ar interior;
- Obrigatoriedade de inspeções periódicas a ar-condicionado e a caldeiras;
- Existência de um plano de manutenção do edifício;
- Promoção da instalação de equipamentos eficientes;
- Limitações ao sobredimensionamento de equipamentos;
- Requisitos para a envolvente do edifício.

Edifícios residenciais:

- Correção das pontes térmicas;
- Exigência de instalação de equipamentos de aquecimento solar térmico para aquecimento de águas sanitárias;
- Requisitos para consumo de energia primária e aquecimento de águas sanitárias;
- Requisitos de necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento;
- Requisitos mínimos de envolvente.

A 19 de Maio de 2010, o parlamento europeu procedeu à revisão da EPBD de 2002, resultando na diretiva 2010/31/EU [29]. Esta procede à clarificação e reforço das disposições inscritas na primeira versão e ainda apresenta novas disposições que implicam desafios a todos os estados-membros.[28]

Assim, a nova diretiva comunitária aplica requisitos mínimos de desempenho energética para edifícios novos e existentes, para elementos construtivos da envolvente que tenham impacto no desempenho, para os níveis ótimos de rentabilidade determinados através de metodologia única desenvolvida na CE. No que toca a edifícios novos, a legislação obriga a existência de um estudo de viabilidade técnica, ambiental e económica de sistemas alternativos de alta eficiência como sistemas que explorem fontes renováveis de energia, cogeração, etc. Quanto aos edifícios existentes, vêm-se obrigados a melhoramentos no desempenho energético sempre que hajam grandes renovações e é incentivada a adoção de sistemas alternativos de elevada eficiência. Também os sistemas novos estão previstos nesta nova diretiva, já que existem requisitos quanto ao seu desempenho. Quanto à melhoria dos existentes, os requisitos apenas serão aplicáveis quando seja benéfico dos vários pontos de vista, nomeadamente: técnico, económico e funcional [28].

A nova EPBD introduz ainda o conceito de nZEB (*Nearly Zero Energy Building*) cujo conceito será mais desenvolvido no seguimento do presente texto mas resumidamente serão edifícios com necessidades quase-nulas de energia. Segundo a nova diretiva, em 2020 todos os novos edifícios devem ser nZEB's, sendo que devem ser os edifícios públicos a dar o exemplo e portanto todos os edifícios públicos devem ser nZEB's até 2018. Esta abordagem implica que os Estados-Membros apliquem planos nacionais para aumentar o número de nZEB's. A diretiva impõe também que as políticas abranjam a reabilitação dos edifícios existentes no que diz respeito ao desempenho energético [28].

No que aos certificados energéticos diz respeito, mais uma vez é reforçada a necessidade da existência de um sistema de certificação, avaliação, comparação e divulgação dos desempenhos energéticos dos vários edifícios. Os certificados emitidos devem ainda incluir recomendações para melhorias rentáveis dos desempenhos e são necessários sempre que o edifício seja arrendado ou vendido e claro, na fase de construção. A divulgação dos certificados é aliás um ponto-chave na legislação que implica que sejam necessariamente afixados em locais de boa visibilidade para consulta por parte de todos os utilizadores [28].

Estão previstas ainda inspeções periódicas a sistemas (caldeiras e sistemas de aquecimento com caldeira superiores a 20 kW de potência, sistemas de ar-condicionado superiores a 12 kW de potência) e os peritos que realizam as inspeções devem ser profissionais independentes formados e acreditados para essa função [28].

2.2.1 Definição de nZEB

Conforme referido, na EPDB de 2010 [29] estão inscritos os objetivos de, até 2018, todos os edifícios sob gestão por parte das entidades públicas serem nZEBs bem como, até 2020, todos os novos edifícios seguirem o mesmo conceito.

A questão coloca-se assim na definição de o que será ao certo um nZEB. A sigla significa *nearly zero energy building* e segundo a própria EPBD a sua definição será [29]:

“Nearly Zero Energy Building é um edifício com uma alta performance energética determinada de acordo com o anexo I. As necessidades energéticas devem ser supridas em larga percentagem por fontes renováveis incluindo produção no local ou nas suas imediações.”

Por outro lado, ainda segundo a EPBD, performance energética é definida como [29]:

“Performance energética de um edifício designa a quantidade medida ou calculada de energia necessária para a satisfação da procura de energia associada à utilização típica do edifício que inclui designadamente a energia usada para o aquecimento, arrefecimento, aquecimento de águas sanitárias e iluminação.

Assim, a definição de nZEB deixa uma larga margem de abordagem ao problema, não havendo uma metodologia de cálculo concreta imposta para a mesma. Neste sentido surge o documento com a seguinte referência [30], desenvolvido pela REHVA (*Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations*) que pretende uniformizar as abordagens a este problema no contexto da aplicação da EPBD.

O conceito de nZEB, segundo a REHVA, parte então do conceito de *net zero energy building* que não é mais do que um edifício que tem um consumo de energia da rede de 0 kWh/(m²ano). Perante a impossibilidade prática de atingir este valor de consumo energético de rede (note-se que o consumo de 0 diz respeito à diferença entre a energia produzida no local e as necessidades energéticas do edifício), adaptou-se o conceito para *nearly zero energy building*. Este consiste num edifício com consumo de energia primária (diferença entre a energia consumida pelo edifício e a energia produzida no local) disponível na rede superior a 0 kWh/(m²ano) [30]. Assim a questão desloca-se agora na definição de quanto acima de zero poderá este valor colocar-se.

Em [30] a definição de nZEB assenta nos conceitos de energia entregue ao edifício (energia primária total que o edifício necessita para a sua utilização típica) e energia exportada (energia que o edifício cede à rede através de produção própria por exemplo partindo de fontes de energia renováveis como painéis fotovoltaicos ou outras). A partir destes dois conceitos surge outro, que é o de *net delivered energy* e que mais não é do que a subtração da energia entregue e da energia exportada. Este diferencial é igual à energia líquida que o edifício necessita de obter da rede de distribuição energética.

A utilização de energia no edifício pode ter finalidades como o aquecimento, arrefecimento, ventilação, aquecimento de águas sanitárias, iluminação ou ainda aplicações e equipamentos. Todos estes consumos são somados ponderadamente (a ponderação é realizada através do fator associado ao vetor energético de cada tipo de energia consumido) que dá origem à energia entregue [30].

A partir da *net delivered energy* é possível desenvolver um indicador da proximidade do edifício em relação a um nZEB. Este indicador consistirá na divisão entre o a *net delivered*

energy e a área útil do edifício, sendo o grande objetivo aproximar este indicador de zero tanto quanto possível [30].

Esse indicador, intitulado de consumo de energia primária, pode ser calculado através da expressão (2.11) [30]:

$$E = \sum_i (E_{entregue,i} \cdot f_{entregue,i}) - \sum_i (E_{exportada,i} \cdot f_{exportada,i}) \quad (2.11)$$

Em que, i designa os vários vetores energéticos, $E_{entregue,i}$, simboliza o consumo energético de cada vetor e $f_{entregue,i}$ consiste no fator de conversão para energia primária (*kgep*) daquele vetor, $E_{exportada,i}$, designa a produção energética de cada vetor e $f_{exportada,i}$ consiste no fator de conversão para energia primária (*kgep*) daquele vetor.

A questão fundamental neste ponto será então a definição de um limite máximo para o desvio do valor de E relativamente a zero.

Em [30] é sugerido que este valor seja definido em cada Estado-Membro tendo em conta os seguintes fatores:

- Nível ótimo de utilização de energia primária;
- Percentagem de energia elétrica da rede nacional que provém de fontes de energia renováveis;
- Ambição no nível de exigência dos edifícios.

Posteriormente a esta definição, devem ter-se em conta os seguintes passos para que se defina solidamente o que é um nZEB e como os edifícios podem lá chegar [30]:

- Definição da fronteira do sistema e, consequentemente, daquilo que se considera *net delivered energy*;
- Identificação de ano de referência para comparação de dados;
- Cálculo de fatores de conversão para energia primária dos vários vetores energéticos;
- Estabelecimento de regras de cálculo energético (cálculo das necessidades energéticas e de sistemas).

Assim fica muito ao cargo de cada EM o estabelecimento daquilo que o país pretende que sejam nZEB's.

2.2.2 Projetos Europeus

Com vista à implementação da EPBD, existem diversos projetos europeus em desenvolvimento e já desenvolvidos com diversos objetivos dentro desta missão.

Alguns dos mais importantes já desenvolvidos têm a colaboração da REHVA (*Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations*) e podem ser encontrados no portal da REHVA *online* [31]. Destes, destacam-se o BUILD-UP e o ASIEPI. O primeiro foi responsável por promover a eficiência energética através da partilha de informação relativa a medidas de aumento da mesma em vários edifícios e que deu origem a um portal *online*. O segundo pretendeu desenvolver um conceito para comparação e *benchmarking* dos vários requisitos da EPBD a aplicar nos vários Estados-Membros.

Quanto a projetos em desenvolvimento, pode-se destacar o NEZEH (*Nearly Zero Energy Hotels*) que procura acelerar a taxa de renovação dos edifícios existentes, nomeadamente no que toca a hotéis. O grande objetivo deste projeto é ajudar as pequenas e médias empresas que representam mais de 90% do parque hoteleiro europeu a implementar medidas que os aproximem de um nZEB. Este projeto pretende aproveitar algumas das condições que se verificam nesta indústria, nomeadamente [31]:

- Os clientes podem experimentar o conforto de viver num nZEB, aproveitando para aprender algumas soluções técnicas e arquitetónicas que podem depois aplicar no seu quotidiano;
- Como o consumo energético normalmente é superior em hotéis do que em residências, há maior margem de melhorias neste contexto;
- Tendo em conta o meio competitivo que é o da hotelaria, as medidas de poupança energética terão tendência a ser repetidas pelos restantes hotéis.

Os outputs do NEZEH visam a criação de um conjunto de ferramentas para que os agentes de decisão possam identificar soluções apropriadas, tendo em conta a viabilidade e sustentabilidade das mesmas. Também prevê a criação de um canal de comunicação entre o sector de construção e a indústria hoteleira que permitirá a troca de conhecimentos entre o lado da procura e da oferta para a implementação do conceito nZEB. Através da implementação de projetos piloto em 7 países, pretende-se obter uma prova de conceito e assim fomentar a aplicação deste tipo de projetos. Pretende-se ainda construir ferramentas práticas para auxílio à divulgação do conceito de nZEB. Em simultâneo pretende-se realizar uma campanha de comunicação integrada e ferramentas para aumentar a consciência geral para os benefícios dos nZEB's, promovendo assim o interesse de possíveis investidores [31].

Outro projeto é o iSERVcmb (*Inspection of HVAC systems through continuous monitoring and benchmarking*) que pretende demonstrar, na prática, os benefícios de um sistema de monitorização automática e com *feedback* aplicado nos sistemas AVAC nos vários estados-membros da UE. Uma vez que, conforme demonstrado em estudos anteriores, é possível reduzir até 60% do consumo dos sistemas AVAC recorrendo a este tipo de monitorização, este projeto assume uma importância considerável no contexto de aplicação da EPBD [31].

O iSERVcmb tem o objetivo de conseguir demonstrar que existem retornos financeiros apreciáveis quando se aplicam medidas de melhoria da eficiência energética e, portanto, estas devem ser fomentadas. Além disso, pretende não só provar que a monitorização contínua e o *benchmarking* de sistemas AVAC permitem mais poupanças do que as auditorias periódicas previstas na maioria das legislações europeias, como também produzir *benchmarks* para o consumo energético em sistemas AVAC para cada utilização no contexto Europeu [31].

Existem ainda outros projetos como o 3encult (*Efficient Energy for EU Cultural Heritage*) que tenta colmatar o distanciamento entre a conservação de edifícios históricos e a proteção climática considerando que as medidas de aumento da eficiência energética neste género de edifícios têm um impacto positivo quanto à proteção estrutural e criação de ambientes confortáveis. E o IDES-EDU (*Master and Post-graduate Education and Training in Multi-disciplinary Teams implementing EPBD and Beyond*) que tem como objetivo educar e formar especialistas em Design Energético Sustentável do Ambiente Construído [31].

Todos estes projetos demonstram a preocupação que existe atualmente com as políticas energéticas e sua aplicação em ambiente Europeu.

No Anexo B, “*Resultados dos projetos AuditAC e HarmonAC*”, podem encontrar-se as descrições e os resultados mais importantes de outros dois projetos Europeus: AuditAC e HarmonAC, que incluem a lista das ECO’s (*Energy Conservation Opportunities*) encontradas no projeto AuditAC e que serão novamente referidas adiante no presente trabalho. Estes projetos assumem relevância no desenvolvimento da presente dissertação já que incidem sobre as medidas que se podem aplicar de forma típica aos edifícios com o objetivo de melhorar a sua performance energética (AuditAC) e consequentes benefícios financeiros das mesmas (HarmonAC). Assim remete-se a leitura para o Anexo B para mais detalhe nesta informação.

2.3 Certificação Energética dos edifícios – panorama mundial e caso europeu

Os sistemas de classificação energética são esquemas de avaliação quantitativa e qualitativa de edifícios tendo em conta critérios de performance energética [32].

Estes sistemas começaram a ser implementados em 1990, a título voluntário, pelos donos dos edifícios. Neste momento, existem vários tipos de sistemas que consideram diferentes critérios ou diferentes pesos para cada critério no que toca à classificação energética do edifício em causa. A inclusão ou não de parâmetros de sustentabilidade, gestão ou LCA (*Life Cycle Assessment* – análise do ciclo de vida), por exemplo, é também alvo de debate e as suas implementações variam de sistema para sistema [32]. Alguns sistemas adquirem uma estratégia rigorosa e restrita na análise da performance energética, já outros preferem uma abordagem pragmática [32].

Tal como foi referido, inicialmente estes sistemas tinham carácter voluntário, no entanto com a implementação de cada vez mais políticas de carácter energético pelas várias entidades, a maioria dos governos exige que, para a atribuição de licenciamento a uma dada obra, seja obtida uma dada classificação energética mínima no sistema adotado pelo país em questão [32].

A situação de quase todos os países terem adotado um sistema de classificação própria introduz ela própria um problema, já que o sistema varia de país para país, o que torna difícil a comparação entre edifícios de localidades diferentes, pois os critérios não são diretamente comparáveis. No sentido de ultrapassar esta dificuldade foi tentado fazer *benchmarking* dos próprios sistemas de classificação, comparando-os uns aos outros [32].

No Anexo A, “*Sistemas de Certificação Energética – LEED, BREEAM e SBMethod*” são descritos três sistemas de classificação energética selecionados de entre os vários possíveis, são eles: LEED (*Leadership in Energy & Building Design* – Liderança em Energia e Design de Edifícios); BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology* – Metodologia de Determinação do Impacto Ambiental de Edifícios) e SB Method (*Sustainable Building Method* – Método do Edifício Sustentável). Esta escolha teve em conta que o sistema LEED e BREEAM são os mais utilizados a nível mundial e que o SBMethod é uma iniciativa europeia.

2.4 **Benchmarking** energético enquanto ferramenta de comparação e incentivo ao melhoramento de performances energéticas

O termo *benchmarking* surgiu na área da geologia como designação do ponto utilizado como referência numa análise geológica ou de terreno. Mais tarde, nos anos 70, passou a ser usado por empresas para referir a comparação entre processos e performances. Apenas nos anos 90 surge o conceito de *building energy benchmarking* para designar a comparação entre a utilização energética em edifícios de características similares [12].

Na Figura 11 podem consultar-se as quatro fases gerais do processo de *benchmarking*, sendo que o conceito do processo é comparar o EPI (*Energy Performance Indicator* – indicador de performance energética) do edifício em análise com os EPI's de uma amostra de edifícios do mesmo tipo ou com as mesmas características [12].



Figura 11 – Fases do processo de *benchmarking*[12]

Existem vários tipos de EPI que podem ser utilizados, sendo o mais comum o consumo energético anual por unidade de área útil do edifício. No entanto, podem considerar-se outros indicadores, como a energia anual consumida por trabalhador ou a energia anual consumida por cama [12], tal como referido também na subsecção 2.1.2 - “*Performance energética*” do presente trabalho.

Tendo em conta as fases do processo referidas na Figura 11, elas são [12]:

1. Reunir informação sobre a performance energética de um número suficiente e significativo de edifícios do mesmo tipo.
2. Reunir informação para a determinação do EPI do edifício.
3. Fazer a análise comparativa da performance energética do edifício com os edifícios similares. O objetivo é verificar se se encontra abaixo da média, acima da média ou na média, caracterizando-o assim relativamente aos outros.
4. Recomendação de medidas de melhoria da performance energética do edifício.

Quanto à forma de determinação do consumo energético anual, ele pode ser obtido por métodos de simulação dinâmica do edifício ou por medições *in situ*. Na Tabela 3 podem encontrar-se as diferenças em termos de características dos dois procedimentos/processos.

A Simulação Dinâmica do edifício exige informação detalhada sobre grande parte dos *inputs*, trabalhadores qualificados e tempo para reunir todos os dados relevantes. É o método mais detalhado, permitindo obter a repartição de consumos consoante o destinatário. Quanto à monitorização contínua, também pode ser dispendiosa mas fornece informação detalhada sobre a performance, que será útil a auditores e para a própria manutenção do edifício. Existe ainda uma terceira via de aferição de consumos que é o recurso a faturas energéticas e que é caracterizado por um fácil acesso à informação de consumos classificada por fonte de energia, mas difícil de determinar a finalidade de utilização [12].

Tabela 3 – Comparação entre determinação de consumos anuais por simulação e por medição [12]

	Simulação Dinâmica	Medições <i>in situ</i>
Dados de <i>input</i>	Informação detalhada	Faturas energéticas ou monitorização de consumos
Dados de <i>output</i>	Detalhada e repartida	Global e não repartida
Dados de clima e perfis de utilização	<i>Standard</i>	Reais
Utilização de energia	Estimado	Medidos
Âmbito	Edifícios novos ou existentes	Edifícios existentes
Custo e formação do utilizador	Alto	Baixo

Existem sempre diferenças entre os valores medidos e previstos para os consumos energéticos. A principal causa está relacionado com as diferenças clima entre o clima real e simulado e, portanto, as cargas não serem exatamente as mesmas. Outras causas geram diferenças nas cargas como por exemplo:

- Número de pessoas a ocupar o edifício e sua atividade;
- *Set-points* dos termostatos;
- Utilização de equipamentos;
- Existência ou não de ventilação natural;
- A procura de águas quentes sanitárias.

Reunir os dados necessários ao processo de *benchmarking* pode assim ter um elevado grau de complexidade e custo. A informação pode ser conseguida recorrendo à recolha de dados no local, junto do proprietário ou dos operadores de manutenção ou então recorrendo à técnica de “*parametric benchmarking*” que consiste em fazer variar os parâmetros energéticos na simulação computacional do edifício e verificar a sua influência no consumo [12].

Ao processo é ainda indispensável associar o grau de similaridade entre os edifícios comparados. Este grau deve ser no mínimo igual à existência do mesmo clima e o tipo de edifício ser o mesmo para que a comparação efetuada seja válida [12].

Assim, e em jeito de conclusão, pode-se sistematizar o processo de *benchmarking* dizendo que possui três passos base [33]:

1. Normalizar os EPIs, tornando-os comparáveis;
2. Utilizar um modelo de regressão que permita encontrar as relações entre o EPI dos vários edifícios e fatores que os condicionem;
3. Ajustar os diferentes EPIs aos diferentes fatores de influência construindo-se uma tabela de *benchmarking*.

Em termos de aplicação prática do processo existem vários tipos de processos matemáticos associados à implementação do processo (Normalização Simples, Método dos Mínimos Quadrados, Análise Estocástica de Fronteira), que serão descritos nas subsecções subsequentes.

O *benchmarking* é utilizado para promover a eficiência energética através da criação de um mecanismo concorrencial entre edifícios. A partir deste, as performances energéticas dos edifícios são classificadas relativamente aos edifícios de referência que são também concorrentes dos mesmos [34]. No entanto, e como também já foi referido no presente texto, existem diferenças de edifício para edifício que os tornam difíceis de comparar mesmo que pertençam à mesma tipologia, destacando-se [34]:

- Fatores aleatórios como as condições climatéricas;
- Características físicas, por exemplo, número de pisos;
- Incentivos da administração aos funcionários e proprietários dos edifícios;
- Diferenças em termos de forma de utilização dos edifícios por parte dos utilizadores.

Portanto os processos de *benchmarking* deverão ter em conta estas diferenças, tentando ao máximo normalizar os edifícios para os tornar comparáveis.

2.4.1 Normalização simples

Normaliza os consumos em termos área do edifício (divide o consumo total pela área útil do edifício) ou então em termos de horas de utilização. Este método prevê ainda uma correção climática caso os dados de graus-dias estejam disponíveis [34].

Consiste numa abordagem simples e barata apesar de ser limitada em termos de domínio já que não normaliza os edifícios para todos os fatores considerados [34].

2.4.2 Método dos Mínimos Quadrados (OLS – Ordinary Least Square)

É usado para determinar a regressão linear que descreve a performance energética média para cada tipo de edifício. Os edifícios que se situem acima da média (maior EPI do que o considerado médio) serão considerados ineficientes enquanto os que se encontrem abaixo da média são declarados eficientes [34].

Neste caso, o sistema de *benchmarking* pode ser implementado considerando a diferença entre o EPI do edifício e o EPI médio para aquela tipologia de edifícios. Esta diferença é chamada de resíduo e são consideradas medidas de ineficiência do edifício, ou seja, sempre que o resíduo é negativo, o edifício é considerado eficiente já que usa menos energia que os seus pares. Se o resíduo for positivo, o edifício é ineficiente [34].

Considerando fatores como a idade do edifício, tipo do sistema de AVAC, área do edifício e outros e considerando ainda que a dependência do EPI do edifício com estes fatores é linear, poderá ser usado um modelo de regressão para os correlacionar que será dado pela equação (2.12) [34]:

$$\min_{a,b,\varepsilon_i} \left\{ \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \mid EPI_i = a + b_1 \cdot x_1 + \dots + b_p \cdot x_{p_i} + \varepsilon_i \forall i = 1, \dots, n \right\} \quad (2.12)$$

Na equação anterior, a representa a intersecção com o eixo, b_p os coeficientes de inclinação de cada fator e n o número de observações. ε_i consiste no erro aleatório da observação de ordem i .

Nem sempre, no entanto, é razoável utilizar o EPI como critério de comparação devido à dispersão de dados. Assim, autores como [33] sugerem a utilização do erro aleatório associado à regressão como o critério. A tabela de *benchmark* é então realizada recorrendo aos valores médios dos erros. Esta é a base do programa de *benchmarking* norte-americano, *EnergyStar*® [34].

Assim, este método pode ser traduzido pela relação (2.13):

$$EPI_{real} - EPI_{previsto} \approx t \cdot SE \quad (2.13)$$

Em que *SE* representa um erro-padrão para a estimativa e *t* será determinado através da tabela para cada observação.

Este método tem limitações já que os erros aleatórios não estão apenas ligados às ineficiências dos edifícios mas sim a fatores como erros de aquisição de dados [34].

Ainda, a partir do método OLS, surge um outro método derivado deste e que se chama COLS (*Correlated Ordinary Least Squares* – Método dos Mínimos Quadrados Correlacionado), que é um método que se subdivide em duas fases. A primeira consiste na determinação da linha de regressão através do método OLS. A segunda é deslocar essa linha de regressão para baixo de forma a tornar todos os edifícios eficientes com erro residual zero e todos os outros com erro residual positivo (ineficientes). A tabela de *benchmark* será assim desenvolvida a partir dos novos erros residuais, considerando-se implicitamente, mais uma vez, que todos os erros são medidas das ineficiências energéticas do edifício. Assim, será o ponto mais baixo da amostra a constituir o *standard* de performance energética, o que faz com que o método seja considerado extremo e os resultados são muito sensíveis ao valor da melhor performance da amostra [34].

2.4.3 Análise estocástica de fronteira (SFA – Stochastic frontier analysis)

Este método considera duas componentes para o erro residual, uma associada às ineficiências energéticas do edifício e outra associada a fatores incontrolláveis como erros de aquisição de dados. Estas componentes são consideradas independentes uma da outra. Devido a esta pressuposto, normalmente, é obtida uma maior proximidade entre os dados e a fronteira de eficiência média do que para o método OLS.[34] Assim a fronteira estocástica para o modelo de eficiência energética pode ser escrita como o demonstrado na equação (2.14) [34]:

$$\ln EPI_i = x_i^T \cdot \beta + v_i + u_i \quad (2.14)$$

Com β a representar o vetor de parâmetros que se pretendem estimar, x_i é um vetor de *input* que inclui os dados de características físicas e de manutenção do edifício, v_i designa os erros aleatórios que pertencem a uma distribuição normal e são independentes dos u_i (variáveis aleatórias não-negativas associadas a ineficiências técnicas) [34].

Normalmente, a análise estocástica é direcionada para a previsão de efeitos de ineficiência, que são avaliados como rácios entre o output observado e a fronteira estocástica desse mesmo output [34]. Tendo este objetivo em mente surge o conceito de eficiência técnica patente na equação (2.15) [34]:

$$TE_i = \frac{EPI_i}{\exp(x_i^T \cdot \beta + v_i)} = \exp(u_i) \quad (2.15)$$

Esta eficiência técnica (TE) toma um valor entre zero e um e mede a relação entre a eficiência energética da amostra i relativamente a um edifício totalmente eficiente usando o mesmo vetor de entrada.[34]

2.4.4 Análise dos dados em envelope (DEA – Data envelopment analysis)

Este é um modelo de análise de multi-fatores de produtividade que é utilizado para medir a eficiência relativa de um conjunto homogéneo de unidades de decisão, sendo os edifícios considerados uma unidade de decisão [34].

A eficiência é definida como [34] – equação (2.16):

$$eficiência = \frac{\text{Soma ponderada de outputs}}{\text{Soma ponderada de inputs}} \quad (2.16)$$

Se um edifício obtiver uma pontuação de 1 é considerado eficiente enquanto se tiver uma pontuação menor que 1 é considerado ineficiente.[34]

Caso o edifício seja ineficiente, o método prevê ainda um conjunto de unidades eficientes que podem ser utilizadas, para aquele caso, como *benchmarks* para melhoramento da performance. Apesar disto, esta é apenas uma ferramenta de diagnóstico, não prevendo nenhuma medida concreta de aumento da performance, sendo que as mesmas devem ser decididas pelas entidades gestoras do edifício em análise [34].

2.5 Quantificação e monitorização dos consumos energéticos em edifícios – as abordagens

De uma forma geral, existem duas abordagens típicas ao controlo dos consumos energéticos de um edifício: métodos baseados na análise das faturas mensais associadas aos recursos energéticos consumidos e métodos baseados na avaliação hora a hora dos consumos energéticos (monitorização contínua) [35].

A análise das faturas energéticas constitui um método económico de realizar este controlo, já que as faturas estão já disponíveis, não sendo necessário investir recursos financeiros num outro sistema para determinar os consumos. No entanto, esta metodologia apresenta duas grandes desvantagens: a primeira consiste no facto de os consumos serem apresentados numa agregação periódica (tipicamente mensal), o que absorve eventuais oscilações horárias e portanto permite apenas ter uma referência ao consumo médio do edifício no período considerado. A segunda deriva da agregação dos consumos, ou seja, apenas se conhece o consumo total da instalação e não o consumo por cada utilizador (iluminação, sistema AVAC, etc.). Estas desvantagens fazem com que a análise efetuada, segundo esta metodologia, seja necessariamente generalista e, portanto, pouco ricas em detalhe de utilização energética, limitando as eventuais conclusões a retirar delas [35].

Uma alternativa para contornar estas limitações consiste na desagregação dos consumos segundo os pesos relativos dos seus utilizadores. Este método exige, contudo, que se conheçam em detalhe os comportamentos dos vários utilizadores sofrendo ainda de limitações no que toca à identificação em detalhe de qual destes provoca eventuais oscilações no consumo total [35].

No que diz respeito aos métodos baseados em monitorização contínua de consumos energéticos, desde já pode afirmar-se que a instalação de um sistema de medição de consumos é indispensável, o que constitui a principal desvantagem deste método. A necessidade de investimento financeiro deverá portanto ser amortizada através das medidas de poupança energética encontradas. Existem várias metodologias de monitorização contínua dos consumos energéticos sendo que a mais utilizada, por ser a que mais vantagens imprime na análise, é a monitorização por utilizador energético. Assim é possível determinar a distribuição percentual de cada utilizador no consumo total, priorizando-se a análise nos consumidores que mais relevância e impacto têm no total. Além disso, pode também conhecer-se o valor absoluto de consumo de cada um, o que permite detetar anomalias ao normal funcionamento em tempo real. A frequência de recolha de dados típica de monitorização é de 1 hora e, tendo em conta as possibilidades tecnológicas, é comum os dados serem armazenados numa base de dados *online*, podendo ser acedidos e tratados em qualquer momento [35].

Para além do método da monitorização por consumidor energético existem mais dois métodos relevantes. Por um lado, a monitorização por métodos não-intrusivos, que utiliza tecnologia capaz de determinar qual a percentagem de consumo que deriva para cada um dos circuitos abastecidos pela entrada de energia elétrica geral. Por outro lado, a monitorização realizada através da gestão técnica centralizada do edifício. O primeiro revela-se eficaz em edifícios residenciais, no entanto, em edifícios de maior dimensão e com sistemas mais complexos, com utilizadores energéticos de grande dimensão não se revela uma opção viável pela dificuldade na aplicação. O segundo nem sempre é possível dadas as diferenças em termos de possibilidades de análises consoante os modelos da GTC e variáveis que a mesma controla [35].

Tendo em conta, a existência de várias metodologias de determinação de consumos, devem também definir-se métodos de análise dos consumos. A partir destes poder-se-á concluir quanto à performance energética dos edifícios, classificá-los e ainda propor medidas para a sua melhoria. Geralmente, são considerados dois grandes tipos de análise: as auditorias energéticas realizadas isoladamente no tempo com recurso a inspeções *in loco* que incidem tanto sobre os sistemas como nos consumos energéticos registados e a análise contínua dos consumos, realizada num período temporal mais curto.

Segundo a legislação vigente na generalidade dos Estados-Membros da UE, são requeridas auditorias energéticas aos edifícios com uma determinada periodicidade. Estas consistem em inspeções realizadas num dado momento em que são avaliados os parâmetros energéticos associados aos edifícios. Consiste numa sequência de tarefas que incluem: recolher informação, analisá-la, propor medidas que vão de encontro ao objetivo de aumento da eficiência energética, avaliar técnica e economicamente essas medidas e, por fim, construir um relatório em que toda a informação é sumariada. O grande problema associado a este tipo de aferição de eficiência consiste no facto de ser isolada no tempo enquanto o edifício é um corpo dinâmico cujas condições de operação se alteram continuamente. Assim no período entre auditorias podem ocorrer alterações significativas em termos de consumos energéticos,

sem que tal seja detetável. Consequentemente, estas não serão corrigidas, possibilitando um consumo energético excessivo durante um longo período de tempo [36].

Por oposição, existem processos de monitorização energética contínua que, de uma forma simples, executam as mesmas tarefas que uma auditoria numa base mensal baseada em leituras contínuas de consumos [36]. Na Figura 12 pode observar-se um esquema comparativo dos dois processos explicitados.

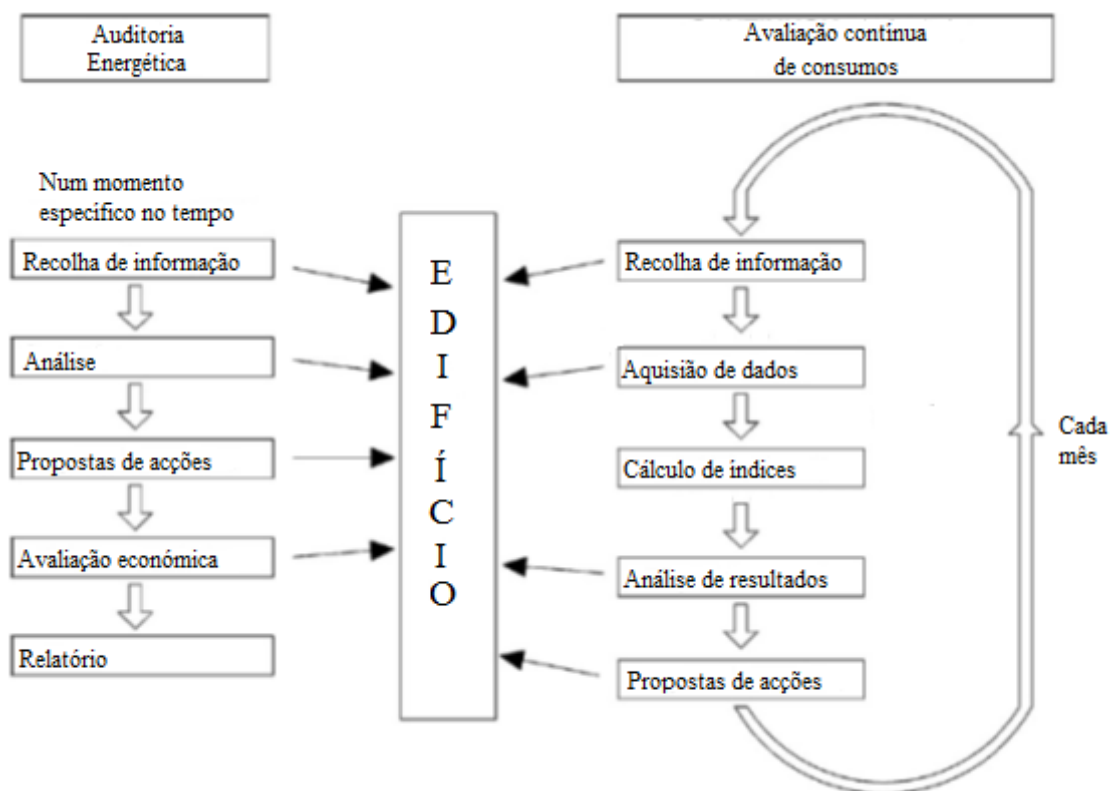


Figura 12 - Diagrama de comparação de procedimentos da auditoria energética tradicional em comparação com os do processo de monitorização contínua [36]

Assim, conforme se poderá verificar na figura, a primeira fase do processo de monitorização consiste na recolha de informação. Esta informação diz respeito aos parâmetros dimensionais do edifício (área interior do edifício e volume climatizado); às características do edifício (utilizações de cada área, número de horas de utilização, número de utilizadores e tipo de sistema AVAC - centralizado ou individualizado) e aos parâmetros ambientais, nomeadamente a variação da temperatura exterior. Estes parâmetros estão relacionados com o edifício a nível construtivo, porém, também será necessário obter dados relativamente aos consumos energéticos. Os dados de consumo energético deverão ser baseados em medições de hora a hora adquiridos segundo algum dos métodos apresentados e os parâmetros medidos deverão ser, no mínimo, os seguintes para que se possam retirar conclusões de um nível detalhado[36] :

- Energia total [$kW \cdot h$], que é a energia elétrica total consumida pelo edifício;
- Energia total AVAC [$kW \cdot h$], que consiste na energia total consumida pelo equipamento de ar-condicionado com a finalidade de climatizar todo o espaço.
- Parâmetro de utilização energética do edifício [$kW \cdot h$], que simboliza o consumo de equipamentos associados ao edifício e que não podem ser desligados. A ele está

associado portanto um consumo permanente de energia. Exemplos de equipamentos como estes podem ser câmaras frigoríficas ou servidores.

No entanto, o processo de monitorização apresenta também desvantagens. Destaca-se a necessidade de um nível técnico elevado na análise dos dados monitorizados para que possam ser retiradas conclusões da dinâmica do edifício. Além disso, o facto de, quando existirem efeitos de sazonalidade a considerar nos consumos, o período de monitorização energética dever ser longo de forma a abranger todas as diferenças provocadas por essa mesma sazonalidade [37].

Em jeito de conclusão, pode resumir-se dizendo que os processos de monitorização e análise contínuas dos consumos energéticos de um edifício terão vantagens sob o ponto de vista de controlo e ajuste de eventuais discrepâncias. Verifica-se, em tempo real, o comportamento do edifício e dos vários consumidores energéticos, permitindo a deteção de anomalias bem como dos fatores principais que influenciam o consumo.

3 Caracterização dos centros comerciais enquanto edifícios de serviços e utilizadores de recursos energéticos

Tendo em conta que os conceitos abordados no presente relatório serão aplicados a um Centro Comercial, torna-se interessante fazer uma breve análise àquilo que são e qual a situação atual dos Centros Comerciais enquanto indústria.

Centro comercial é intuitivamente um edifício que aloja um conjunto de lojas de venda a retalho ou de prestação de serviços. No entanto, a definição jurídica de centro comercial exige que sejam cumpridos cumulativamente quatro requisitos, a saber: uma área mínima de 500 m², possuir no mínimo 12 lojas instaladas no mesmo edifício ou em edifícios ou pisos contíguos e interligados, ter uma unidade de gestão para a coordenação de serviços comuns e fiscalização do cumprimento de toda a legislação e, ainda, possuir um período de funcionamento comum a todas as lojas [38].

Depois de definido o que é um Centro Comercial (daqui em diante designado também pela sigla CC) em termos jurídicos, importa agora definir e entender as suas características, quer a nível de tipologia de atividade, quer da realidade do setor em Portugal e ainda enquadrar os tipos de consumos energéticos esperados nos mesmos. São esses então os principais objetivos das secções seguintes.

3.1 A realidade da indústria dos Centros Comerciais em Portugal: Perfis e características de utilização

Em Portugal como no mundo, os Centros Comerciais, também chamados “*shoppings*”, tornaram-se em locais que permitem e fomentam não só o consumo a retalho, mas também o lazer, o entretenimento e o desenvolvimento de atividades culturais por parte de quem os visita [39].

A implementação deste conceito importado dos Estados Unidos da América que, por sua vez, se inspirou nas antigas galerias de compras burguesas Venezianas, em Portugal deu-se primeiramente nos anos 60 em Lisboa. O conceito foi ganhando implementação e alastrou-se à segunda maior cidade, Porto. Posteriormente foram sendo inaugurados centros um pouco por todo o país cada vez mais deslocalizados dos grandes centros urbanos. A evolução do número de aberturas por ano acompanha sempre a realidade económica do país já que é dependente do poder de compra das famílias. Assim, é perceptível o desenvolvimento em 3 fases muito distintas: nos anos 70 são inaugurados centros de pequena dimensão e sem planeamento detalhado do tipo de lojas em cada um; nos anos 80 há uma inauguração de ABL superior por ano; por fim nos anos 90 dá-se a expansão do conceito inaugurando-se unidades com uma maior área, menor número de lojas e mais cuidado com a arquitetura e *design* dos projetos [39].

Convém acrescentar que ABL (Área Bruta Locável) se refere à área que gera rendimento no CC, ou seja, a área total de espaço a arrendar.

A classificação dos CCs em Portugal pode ser consultada na Tabela 4 em que se apresenta segundo a Área Bruta Locável de cada um dos centros. A divisão entre formato tradicional e especializado traduz a diferença entre centros que possuem vários tipos de comércio a retalho (tradicional) ou centros cuja área é exclusiva ou maioritariamente dedicada a um determinado tipo de comércio específico (especializado).

Como forma de facilitar o tratamento dos dados, não se considerarão a partir deste ponto todas as categorias apresentadas na Tabela 4.

Ao invés considerar-se-ão as categorias: tradicional grande e muito grande, tradicional médio, tradicional pequeno e muito pequeno e por fim, especializado.

Tabela 4 – Classificação dos Centros Comerciais em Portugal segundo a sua Área Bruta Locável (ABL) [40]

<i>Formato</i>	<i>Tipo</i>		<i>ABL (m²)</i>
Tradicional	Muito Grande		80.000 e superior
	Grande		40.000-79.999
	Médio		20.000-39.999
	Pequeno	Sem âncora dominante	5.000-19.999
		Com âncora dominante	5.000-19.999
	Muito Pequeno		500-4.999
Especializado	<i>Retail Park</i>	Grande	20.000 e superior
		Médio	10.000-19.999
		Pequeno	5.000-9.999
	<i>Factory Outlet Centre</i>		5.000 e superior
	Centro Temático	Baseado em Lazer	5.000 e superior
		Não Baseado em Lazer	5.000 e superior

Ao longo dos anos, diversos CCs têm sido inaugurados em cada uma destas categorias. A evolução do número de Centros inaugurados por categoria e por ano pode ser consultada no Anexo C. Na Figura 13, pode encontrar-se o número total de Centros inaugurados no território nacional ao longo do tempo.

Conclui-se que a partir dos finais da década de 80 começaram a ser implantados um grande número de Centros Comerciais, perfazendo os atuais 107 complexos com uma área bruta locável (ABL) total no país de cerca de 2.817.628 m², o que traduz 265 m² de ABL por cada milhar de habitantes [40].

Em termos internacionais, na Figura 14 pode encontrar-se a comparação entre os vários países da Europa a 27 em termos de ABL por cada milhar de habitantes. Portugal coloca-se assim próximo mas abaixo da média Europeia de área comercial por milhar de habitantes. Deve ter-se em atenção que os dados da Figura 14 não são coincidentes com os expressos em [40] já que os anos a que se remetem são, respetivamente, 2014 e 2011.

Assim, um número elevado de inaugurações de Centros Comerciais não implica necessariamente que o aumento de ABL seja significativo. Observe-se a Figura 15 que representa a evolução de ABL no país ao longo dos anos.

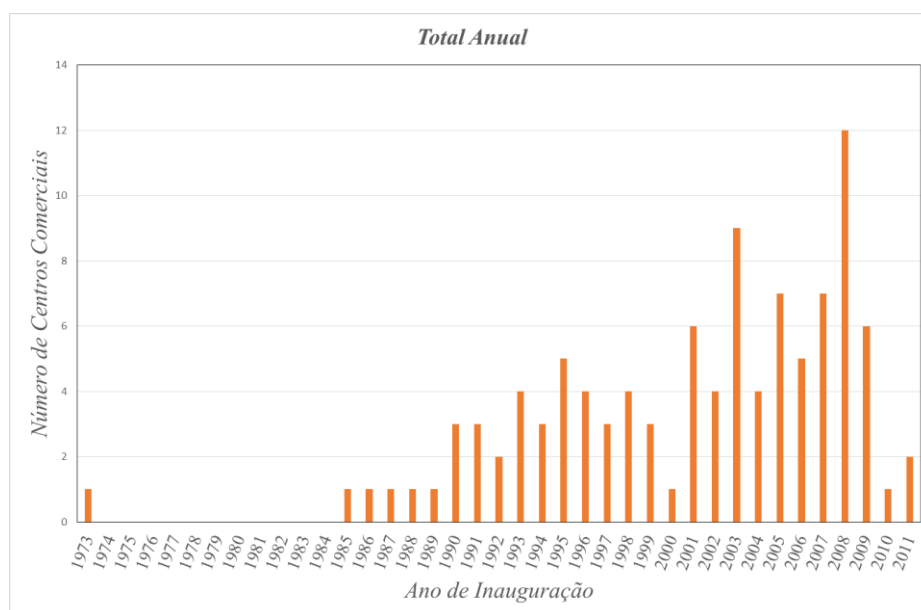


Figura 13 – Número de Centros Comerciais inaugurados por ano em Portugal [40]

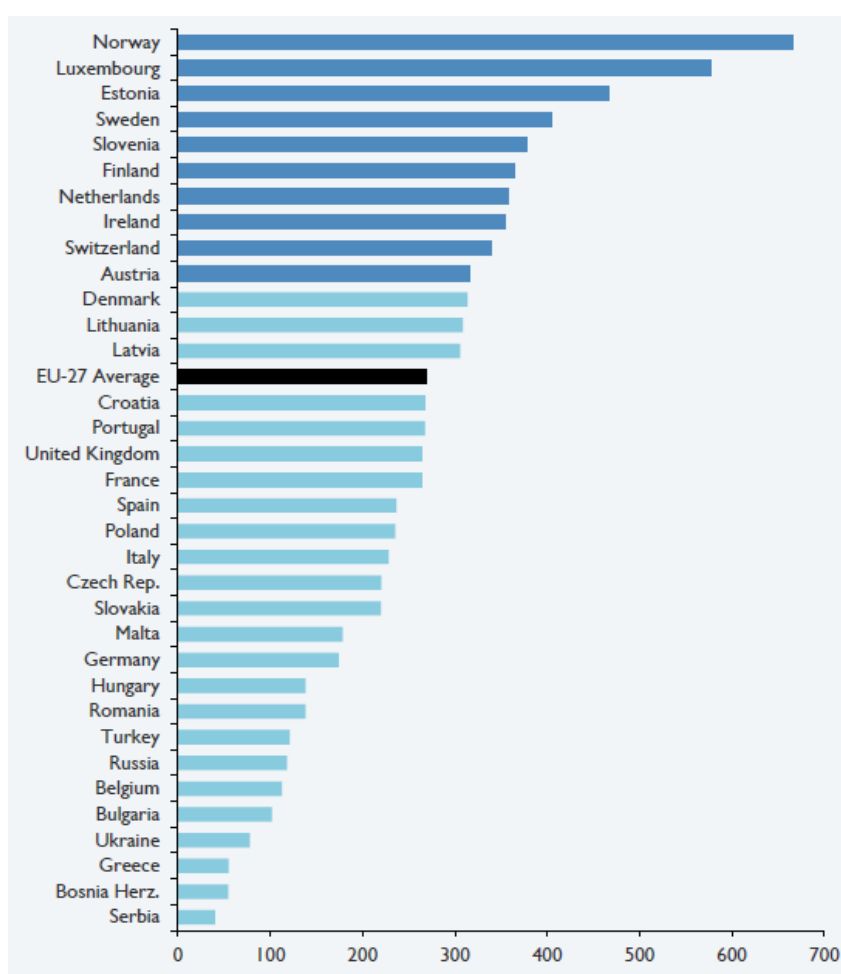


Figura 14 – Comparação entre os vários países Europeus (Europa a 27) da ABL (m²) por cada milhar de habitantes, Abril de 2014[41]

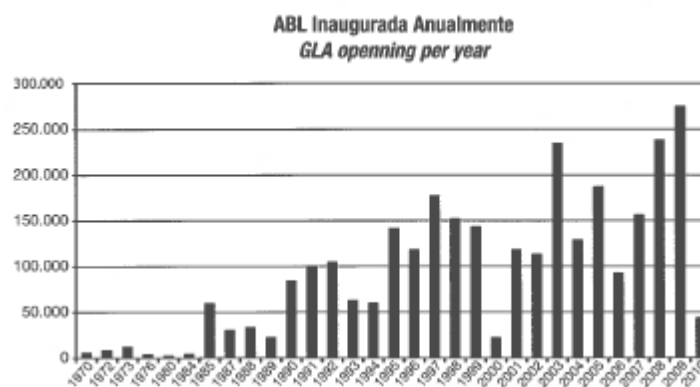


Figura 15 – ABL inaugurada anualmente [40]

Pode-se então observar que em 2008 houve mais inaugurações de Centros Comerciais, no entanto, em 2009 a ABL aumentou mais acentuadamente apesar de menos superfícies abrirem portas, o que se deveu à abertura do Centro Comercial Dolce Vita Tejo, com uma ABL superior a 100 000m².

Considerando agora o âmbito restrito do presente trabalho, ou seja, o dos consumos energéticos e consequente melhoramento dos mesmos, é importante conhecer a informação quanto às remodelações executadas neste tipo de edifícios. É aconselhada uma remodelação dos sistemas AVAC de 10 em 10 anos, para melhoramento de eficiência. Contudo, apenas 23% do número total de Centros Comerciais do país foi alvo de remodelação depois de abrir ao público, sendo a média de antiguidade no momento de remodelação dos mesmos cerca de 13 anos de idade [40]. Pode concluir-se que existe neste âmbito um potencial de melhoria praticamente inexplorado.

Na Tabela 5 pode encontrar-se uma descrição sumária das remodelações efetuadas nos CCs.

Tabela 5 – Caracterização das remodelações a Centros Comerciais [40]

Tipologia dos centros	Nº de centros remodelados	Anos de inauguração	Antiguidade no ano de remodelação
<i>Tradicional grande e muito grande</i>	5	1991, 1996, 1999	12, 12, 10
<i>Tradicional médio</i>	5	1993, 1997, 1995	11, 10, 14
<i>Tradicional pequeno e muito pequeno</i>	14	1989, 1993, 2002	20, 14
<i>Especializado</i>	1	2000	9

Os Centros Comerciais são edifícios com especificidades que os distinguem e tornam um caso diferente de todos os outros. Para se caracterizar um Centro Comercial do ponto de vista energético devemos ter em conta vários parâmetros, nomeadamente as necessidades

térmicas do edifício, os equipamentos e os seus consumos energéticos, os horários de funcionamento de todo o Centro e os perfis de utilização das várias valências do mesmo [42].

Assim, dever-se-á começar por analisar a finalidade de um edifício deste género. Conforme referido acima, um Centro Comercial é um edifício que se destina a albergar diversos tipos de lojas. É constituído por uma parte da área, chamada área locável, em que esta é dividida com o objetivo de arrendamento (lojas), uma parte da área constitui o chamado *Mall*, ou seja, o espaço comum entre as várias lojas e por fim a terceira parte da área destina-se a galerias técnicas e administração do Centro Comercial (CCs).

Cada uma destas diferentes áreas possui especificidades próprias e utilizações diferentes, bem como horários de funcionamento distintos. Por exemplo, as lojas terão mesmo horário de funcionamento umas relativamente às outras, no entanto, casos específicos (como os cinemas ou os supermercados), o horário poderá ser diferente dos restantes devido às diferentes tipologias de serviços prestados em cada loja.

No que toca à arquitetura dos CCs, ela é muito variável tendo em conta a localização, o número de lojas que albergará, o conceito que o CC pretende adotar ou ainda o próprio *mix* comercial que se pretende albergar no edifício. Em Portugal existem desde CCs com apenas um piso de lojas até quatro ou cinco pisos. A mesma variabilidade pode ser afirmada no que toca aos materiais.

3.2 Tipos de sistemas AVAC característicos em Centros Comerciais

Quanto ao tipo de edifício que se analisa nesta fase, poder-se-á concluir que as especificidades apresentadas levam a que o sistema AVAC tenha que se adequar a elas. Assim, na escolha de um sistema AVAC para aplicar num edifício desta tipologia (tal como outra qualquer), há parâmetros que devem ser tidos em conta, tais como a eficiência energética do edifício, a capacidade térmica do sistema, os espaços que estão efetivamente disponíveis para integrar o sistema, os custos de investimento e manutenção do sistema, a adaptabilidade e flexibilidade do mesmo e ainda a qualidade do ar interior que se pretende [42].

Devido à presença de uma iluminação e ocupação elevadas criadas pelo género de serviço prestado neste tipo de edifícios, a grande pressão é geralmente colocada do lado do arrefecimento. Devido aos elevados ganhos internos comparativamente a outro género de edifícios, estes são suficientes, na maioria das situações, para suprir as necessidades de aquecimento durante o Inverno, chegando mesmo a excedê-las. Assim cria-se a situação de ser necessário arrefecer os espaços mesmo no Inverno.

Para a climatização de um edifício com estas características poderia optar-se por um de dois grandes tipos de sistema: um sistema localizado, em que cada espaço é climatizado individualmente e um sistema centralizado com distribuição a cada um dos espaços [43].

No que toca à escolha entre um e outro, normalmente opta-se por um sistema centralizado já que apresenta vantagens sobretudo no que toca à manutenção.

Os sistemas centralizados apresentam necessidade de um (ou mais dependendo da dimensão do edifício e da solução de arquitetura adotada) espaço exclusivamente dedicado ao equipamento mecânico (chillers, caldeiras, bombas, UTAs, etc). Este facto representa vantagens, já que a manutenção é realizada mais facilmente, devido à maior acessibilidade aos equipamentos e, consequentemente, é expectável que os equipamentos tenham uma vida útil

superior, já que a manutenção é mais cuidada. Também no que toca ao ruído e à geração de calor esta solução é mais indicada, pois as salas técnicas podem ser devidamente isoladas e, portanto, não perturbar o funcionamento do resto do edifício [43].

Tendo em conta que normalmente estes edifícios são de grandes dimensões, o sistema centralizado apresenta também vantagens em termos de admissão do ar a insuflar já que permite a localização desse ponto de admissão num local alto e afastado das ruas. Assim, obtém-se a insuflação de um ar mais puro comparativamente a um sistema localizado, em que cada zona térmica teria um ponto de admissão independente [43].

No entanto este tipo de solução apresenta também desvantagens, sendo que a maior consiste na necessidade de uma árvore de distribuição de fluidos a cada uma das zonas térmicas. Por esta razão, a rede de distribuição tem grandes dimensões, é extensa e, normalmente, ocupa uma parte considerável do pé direito do edifício. Também os mecanismos de controlo serão mais complexos, já que o mesmo sistema climatiza diferentes zonas térmicas com diferentes necessidades. Deve-se considerar ainda o facto de que, por ser centralizado, qualquer avaria mais grave de um dos equipamentos base poderá fazer parar o sistema na sua globalidade. É necessário que todos os equipamentos tenham, preferencialmente, um equipamento igual ligado em paralelo e que permita, em caso de paragem do primeiro, manter o funcionamento do sistema [43].

Assim, o sistema de climatização de um Centro Comercial será normalmente composto por duas partes: o primário e o secundário. O primário consiste nos equipamentos que fazem a transformação da energia primária em energia térmica, ao passo que o secundário é responsável pela difusão da energia pelas várias zonas térmicas (no caso do aquecimento) ou absorção de energia nas várias zonas térmicas (no caso de arrefecimento) [42].

É tendo em conta a forma como a energia é transportada que se define a classificação mais comum dos vários tipos de sistema AVAC. Assim, consoante o fluido que faz o transporte entre o primário e o secundário, assim se classifica o sistema em:

- Tudo-frigorigéneo;
- Tudo-água;
- Tudo-ar;
- Ar-água.

Quanto ao sistema tudo-ar, devido ao facto de o ar ser o fluido que menos energia armazena por unidade de volume (de entre os três considerados), será este o sistema que exige um maior volume de condutas para a distribuição do fluido. Por outro lado, em termos de conforto será o mais indicado já que o ar, antes de insuflado, é devidamente tratado (aquecido ou arrefecido e humidificado ou desumidificado), entrando na zona térmica a climatizar já em condições que garantem o conforto aos seus ocupantes. Também possui a vantagem de fazer simultaneamente a climatização e ventilação do espaço. O sistema tudo-água faz apenas a climatização do espaço, sendo necessário um outro sistema para fazer a ventilação ou então o recurso a ventilação natural através de infiltrações ou janelas. Este sistema tem a vantagem, devido à elevada capacidade térmica da água, de transportar uma grande quantidade de energia, o que possibilita a utilização de tubagens com diâmetro relativamente reduzido. Uma maior redução de tamanho das tubagens pode ser conseguido recorrendo ao sistema tudo-frigorigéneo. No entanto, este apresenta inconvenientes, tal como no caso do sistema tudo-água, pela necessidade de outro mecanismo para conseguir a ventilação dos espaços. Além

disso, a toxicidade dos fluidos frigorigéneos, em caso de fugas pelas condutas, pode revelar-se como um problema [43], exigindo maior necessidade de precisão de projeto.

Assim, e tendo em conta todos os fatores apresentados, os sistemas mais comuns neste tipo de edifícios são o Ar-Água e Tudo-Ar, já que permitem por um lado a ventilação e a climatização do espaço.

Relativamente ao sistema Tudo-Ar, o Ar-Água apresenta vantagens como a redução do tamanho das condutas de ar para o mínimo necessário à ventilação do espaço, sendo que a energia fornecida/retirada do espaço circulará nas tubagens. Também apresenta melhores consumos energéticos na circulação dos fluidos, nomeadamente no que toca aos consumos associados a bombagem e ventiladores [42].

Portanto, nos sistemas ar-água o primário consiste nos chillers, caldeiras e UTAs que aquecem ou arrefecem a água e o ar. O secundário é composto pelos ventilo-convetores instalados em cada zona térmica, responsáveis por retirar a carga sensível do espaço e pelos difusores que introduzem o ar no espaço, normalmente em condições neutras relativamente ao espaço [42].

Quanto aos primários mais comuns em Centros Comerciais, como foi referido, o maior esforço do sistema consiste, normalmente, no arrefecimento. Para tal usam-se os chillers que podem ser, por exemplo, ar-água. Geralmente, estes são usados em associação com bancos de gelo, para que a energia seja armazenada sob a forma de gelo e possa ser utilizada à medida das necessidades. Existe também a possibilidade de recorrer a chillers de absorção com torre de arrefecimento e micro-turbina para a produção de calor, frio e eletricidade [42].

Tendo em conta que a presente dissertação se enquadra no grupo Chamartín, mais propriamente na realidade que é a dos Centros Comerciais Dolce Vita em Portugal, que inclui 8 CCs, foi realizado um inquérito para determinar os tipos de sistemas de climatização típicos no grupo. Concluiu-se através deste, que em todos o sistema é ar-água, sendo portanto a água utilizada para climatizar o espaço e o ar utilizado para a ventilação dos espaços. O sistema de produção de frio é que difere de centro para centro já que quatro possuem Chillers água-ar com armazenamento térmico com recurso a bancos de gelo. Os restantes quatro Chillers são água-água com torres de arrefecimento. É de referir que há dois Centros Comerciais em que o sistema AVAC além de arrefecimento também tem a função de aquecimento do espaço recorrendo a caldeiras a gás.

3.3 Características dos consumos energéticos no setor dos serviços – caso Norte-americano, Europeu e Português

Os centros comerciais englobam-se num grupo económico mais amplo que se designa comumente como edifícios comerciais, que incluem várias tipologias de edifícios que servem o propósito de desenvolver trocas comerciais como por exemplo escolas, hospitais, escritórios, hotéis, restaurantes, armazéns, locais de culto e, centros comerciais [44].

Na Figura 16 podem encontrar-se as distribuições percentuais dos consumos energéticos segundo o setor de atividade (Residencial, Transportes, Indústria e Comércio) [44].

Na Figura 17 podem consultar-se os mesmos dados para o caso europeu, sendo que o sector intitulado comercial na anteriormente passa a designar-se por serviços, neste caso.

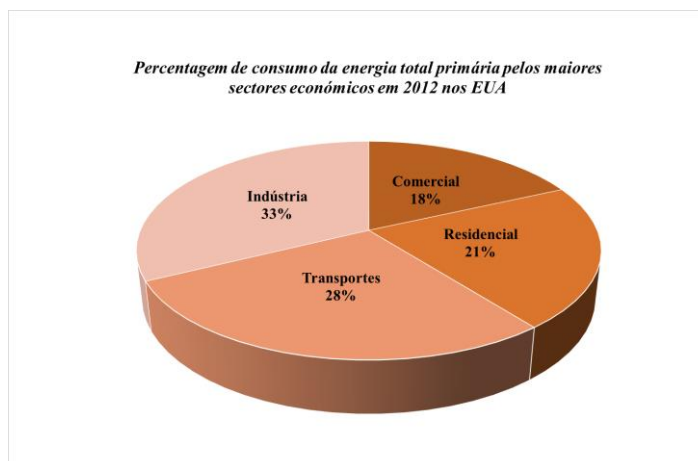


Figura 16 - Consumo total de energia nos EUA por sector económico em 2012[44]

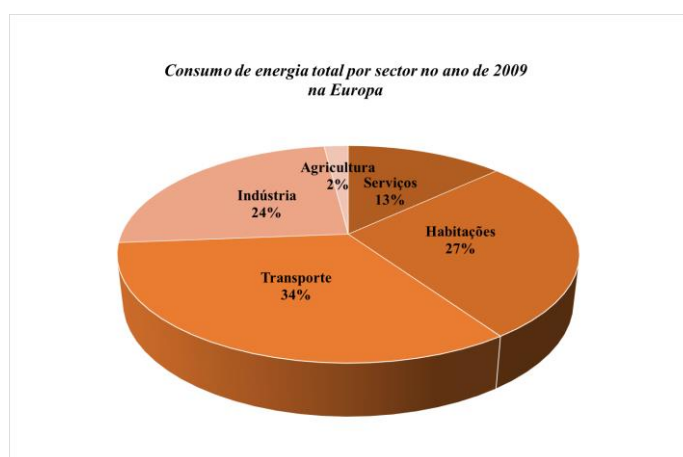


Figura 17 - Consumo total de energia na Europa por sector económico em 2009[45]

Por comparação entre o caso Europeu e Norte-Americano conclui-se que a distribuição é relativamente idêntica, sendo que o setor que mais difere será o da indústria. Convém ter em conta que as comparações sofrem sempre a limitação de os dados não serem relativos ao mesmo ano.

Na Figura 18 pode encontrar-se a representação gráfica da evolução do consumo energético nos EUA desde 1949 até 2012. Conforme se verifica na figura, este tem aumentado de ano para ano de uma forma geral em todos os setores. No entanto, em 2009 verifica-se uma diminuição em cerca de 5 pontos percentuais no consumo energético, o que estará associada à crise económica. Desde este ano, a tendência de evolução do consumo energético parece ter sido alterada, passando a diminuir de ano para ano de uma forma geral. Uma situação semelhante pode ser observada no ano de 1973 que marcou também uma inversão na tendência de aumento do consumo energético em todos os setores derivado do embarco da distribuição de petróleo aos EUA e à Europa por parte dos países membros da OPEP. Durante a restante década de 70 verifica-se uma diminuição sustentada do consumo devido aos aumentos do preço do combustível. Pode concluir-se assim da dependência entre o clima económico e a evolução do consumo energético.

A Figura 19 a indicação da evolução do consumo energético por sector entre 1990 e 2009 na Europa. É observável o claro aumento sustentado do consumo energético no setor de serviços, atingindo em 2009 a percentagem de 13% do consumo total.

Consumo energético por sector, 1949 - 2012

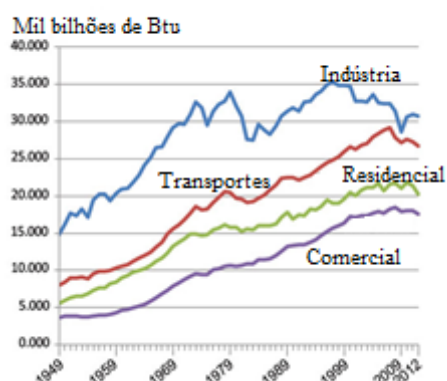


Figura 18 - Evolução do consumo energético em cada sector económico nos EUA entre 1949 e 2012[44]

Consumo energético por sector entre 1990 e 2009 na Europa

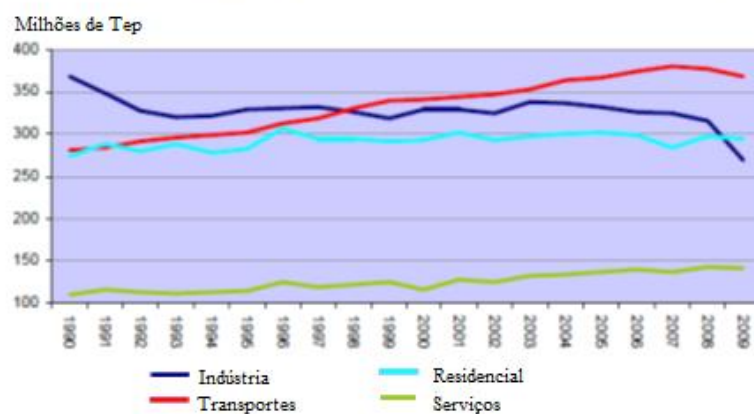


Figura 19 - Evolução do consumo energético em cada sector económico na Europa entre 1990 e 2009 [45]

De seguida apresenta-se a distribuição percentual dos consumos energéticos em termos de energia primária por setor de atividade em Portugal (Figura 20).

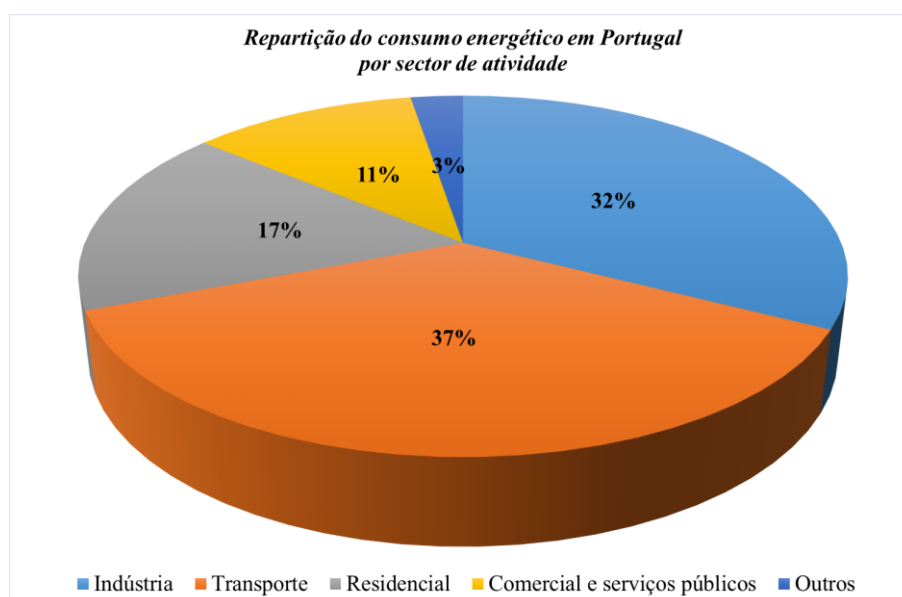


Figura 20 - Consumo energético por sector em Portugal no ano de 2011 [46]

Conclui-se então que do consumo total energético, ele se subdivide em vários tipos de finalidade e as suas percentagens relativas vão variando consoante a região que é considerada.

Segundo dados do Grupo CoStarTM, nos EUA os edifícios de venda a retalho contabilizam 34% do total de edifícios do sector comercial [47]. Fica assim demonstrado que uma fatia elevada dos consumos associados a este sector estará diretamente ligada àquela tipologia de edifícios.

Importa agora fazer uma análise geral daquilo que são os consumos nos próprios edifícios comerciais de venda a retalho. Para tal recomenda-se a leitura da Tabela 6 apresentada de seguida. Na segunda coluna estão descritos a gama dos valores típicos dos consumos de cada uma das finalidades de consumo (primeira coluna) e na terceira coluna os valores médios normalizados para as mesmas finalidades.

Tabela 6 - Distribuição de consumos energéticos típicos em edifícios de venda a retalho [48]

<i>Aplicação</i>	<i>Gama de percentagens típicas</i>	<i>Média (%)</i>
AVAC	20-50	30
Iluminação	40-75	60
Funções especiais (Elevadores, Iluminação de emergência, AQS)	5-20	10

3.4 Aumento da eficiência energética em Centros Comerciais

Os centros comerciais são edifícios de uma tipologia específica que se enquadra na categoria de serviços. Esta categoria é responsável por 40% dos consumos de energia primária de todo o universo dos edifícios, como referido no primeiro capítulo da presente dissertação. Por essa razão, existe um grande potencial de poupança energética por via de melhoria de eficiência energética.

O primeiro passo no aumento da eficiência energética é a caracterização e quantificação do comportamento energético do edifício, nomeadamente ao nível dos consumos energéticos associados aos vários consumidores de energia [49].

Entre os fatores que afetam o consumo energético podem-se destacar dois tipos: os de carácter de construção, ou projeto, e os de utilização.

Nos fatores de tipo construtivo podem incluir-se a existência, ou não, de isolamento térmico, a orientação do edifício, os materiais utilizados na construção, a disposição ou *design* dos vários equipamentos do próprio edifício ou o tipo de sistema AVAC instalado.[49] Estes, caso se queiram corrigir, exigem um alto nível de investimento.

Quanto aos fatores de utilização, estão associados à existência ou não de um plano de manutenção do edifício no que toca a consumos energéticos e à sua análise crítica, bem como o perfil de utilização e comportamentos dos utilizadores de equipamentos. [49] Este tipo de

condicionantes implica um menor custo de alteração do que as construtivas e portanto deverão ser alvo de análise com vista ao melhoramento do desempenho energético do edifício.

O estudo referido em [49] faz uma análise de vários fatores a ter em conta na redução de consumos e aumento da eficiência energética, concluindo que existem sete áreas em que se poderá atuar com vista a atingir este objetivo que serão:

- Monitorizar os consumos e registar esses dados numa base de dados para posterior tratamento – as áreas cujos consumos são de interesse registar serão: o consumo total do edifício e o consumo do sistema AVAC.
- Evitar picos de consumo energético através de uma utilização mais racional da energia, o que implica estabelecer horários de utilização de cada equipamento (determinar os requisitos de utilização do edifício).
- Implementar sistemas de monitorização automática que lancem alertas ao gestor do edifício sempre que se verifique uma anomalia do consumo para que se possam tomar medidas de correção dos consumos para os níveis normais em tempo real.
- Designar um técnico responsável pela gestão energética do edifício e que tenha a seu cargo a monitorização, avaliação e transmissão de informação sobre os consumos. Desta forma, através da responsabilização, fomenta-se uma cultura de eficiência energética.
- Implementar medidas ativas de melhoramento da eficiência em equipamentos, como por exemplo: fazer manutenção de equipamentos como os PLC's e os temporizadores que podem ser desconfigurados durante uma falha de energia; desligar as bombas de circulação de água quente nos períodos de Verão; o funcionamento de cada sistema em cada área estar diretamente associado ao horário de funcionamento da mesma, desligando-se quando a área esteja desocupada; melhorar a eficiência de componentes do sistema AVAC.
- Modificar os sistemas de controlo de consumos de forma a facilitar a utilização dos mesmos por parte de pessoal não-técnico.
- Existir uma comunicação ativa entre o gestor e os utilizadores no sentido de que o sistema cumpra sempre a sua função.

As medidas apresentadas têm um carácter generalista de explanação de princípios que devem ser adotados em todos os edifícios. Caso sejam cumpridas, têm uma influência efetiva na melhoria da performance energética.

Foi já referido no capítulo anterior a existência do projeto europeu auditAC[50] estabeleceu uma lista de ECOs (oportunidades de conservação energética) as quais se encontra no Anexo B, ponto a) do presente relatório.

A lista de medidas encontrada divide-se em três grandes áreas: envolvente e cargas térmicas, instalação, operação e manutenção, que devem consideradas também quando se propõem medidas de melhoria do consumo energético em CCs. Na Figura 21 pode encontrar-se um resumo das secções e subsecções em que se subdividem as medidas.

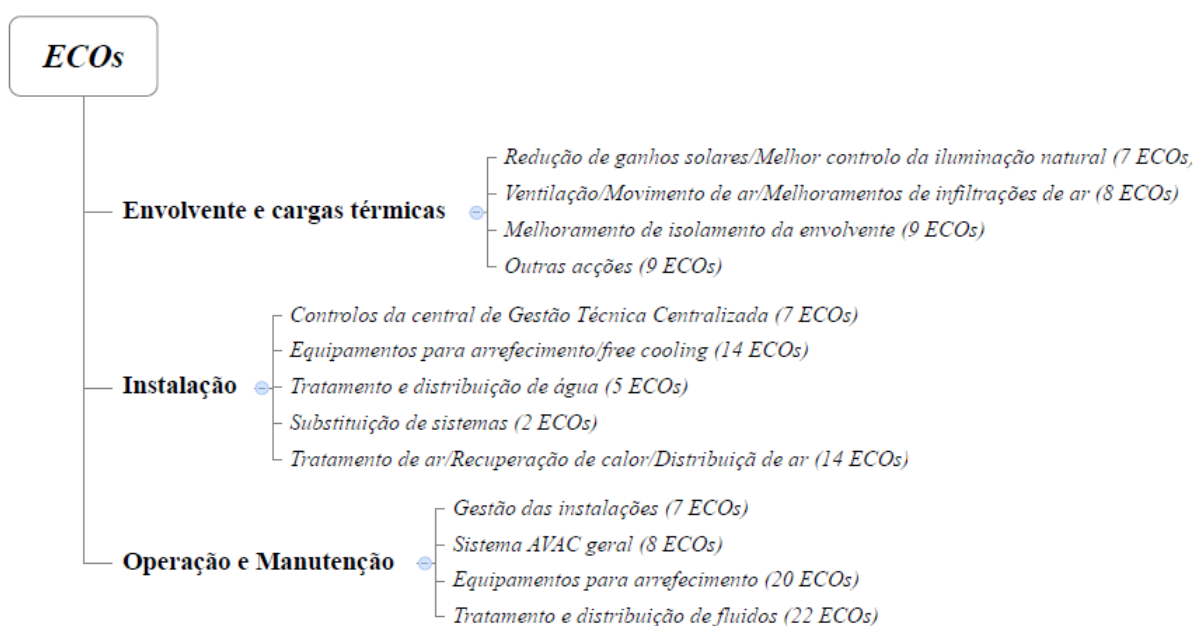


Figura 21 – Secções e subsecções em que se subdividem as medidas de conservação de energia (ECOs) encontradas.

4 Caso de estudo

Conforme referido anteriormente, o objetivo do trabalho é analisar os consumos energéticos do Centro Comercial, através de um sistema de monitorização contínua e inferir quais as eventuais medidas de melhoria a implementar para racionalizar a utilização de energia. Impõe-se assim, e depois de analisado o estado de arte no que diz respeito à realidade e avaliação de consumos energéticos, legislação e preocupações mundiais com os mesmos, descrever o sistema e os seus perfis de utilização energética.

Tendo esta questão em mente, iniciar-se-á pela descrição do sistema, passando-se de seguida aos horários de utilização dos vários equipamentos e por fim uma análise à evolução temporal dos consumos energéticos através da análise global dos consumos.

4.1 O Dolce Vita Ovar

Este centro comercial foi inaugurado no ano de 2007, introduzindo na altura um conceito inovador que se traduzia pela existência de um pavilhão desportivo no mesmo complexo. A gestão do pavilhão é separada da do restante complexo quer a nível do sistema AVAC quer ao nível da exploração portanto este não será considerado daqui em diante.

O edifício, de apenas um piso, possui uma área bruta de construção de 26 388 m², uma área bruta locável (ABL) de 20 567 m² e pé-direito de 3,7 m. O Parque de estacionamento é exterior e tem uma área total de 31 543 m². O CC possui ainda uma área de parque de estacionamento coberto de aproximadamente 3 200 m².



Figura 22 – Pormenor do Mall do Centro Comercial

A envolvente do edifício consiste num pinhal e dista cerca de 7 km do mar.



Figura 23 – Pormenor do parque de estacionamento do CC

A manutenção da área interior comum de 5 821 m² (Figura 22), do parque de estacionamento (Figura 23) e do espaço de lazer circundante (Figura 24) bem como a distribuição de água fria para climatização às lojas e a ventilação de todo o *Mall* está a cargo da administração e são as atividades que implicam consumos energéticos. Os consumos energéticos resumem-se a consumos de energia elétrica já que o sistema AVAC instalado não prevê o aquecimento de ar nem de água e a distribuição de AQS à restauração não é centralizada. O aquecimento de água da rede está a cargo de cada arrendatário de espaços, que deverá instalar equipamentos para cumprir essa função, caso dela tenha necessidade.



Figura 24 – Pormenor da envolvente do CC em que se procura promover atividades ao ar-livre

Depois de uma descrição genérica das valências do Centro Comercial, descrever-se-á de forma detalhada o sistema de climatização instalado no CC.

4.1.1 Sistema de climatização instalado

Genericamente, o sistema de climatização do centro comercial é do tipo ar-água. Possui 3 UTAs que fazem a ventilação do espaço do *Mall*, 2 Chillers de compressor em parafuso arrefecidos a ar (Carrier, modelo 30GX – 358) com potência nominal de 2x306 kW cada um associado a bancos de gelo (20 unidades do modelo 1190B Calmac) que fazem a acumulação de gelo durante a noite para que, no período diurno, água gelada seja bombeada para as lojas através do secundário.

Deve referir-se que os Chillers são compostos, cada um, por 4 compressores divididos em dois circuitos elétricos independentes (dois compressores por cada circuito, consulte-se a Figura 25), que estão associados a quadros dedicados em exclusivo a cada um dos circuitos. Portanto existem 2 quadros elétricos dedicados ao fornecimento de energia elétrica a cada um dos Chillers. Assim, a potência nominal de cada um dos Chillers é 612 kW, no entanto a potência nominal de cada um dos circuitos é de 306 kW, daí a designação de 2x306 kW utilizada anteriormente. A potência de geração de água gelada total instalada é assim de 1224 kW elétricos. O sistema de bombagem de água é dividido em 4 grandes grupos:

- Circulação de água no primário, promovido por duas bombas de potência nominal de 37 kW cada uma, com variador de frequência e *soft start* que funcionam alternadamente uma a uma (uma das bombas é reserva);
- Circulação de água no secundário, que consiste em 4 bombas de potência nominal de 15 kW cada uma com *soft starts* trabalhando em diferentes perfis consoante a estação. No Inverno trabalha apenas uma das bombas, no Verão trabalham em grupos de duas.
- Circulação de água gelada nas lojas, que é promovida por dois grupos de bombas. Um é composto por 3 bombas com variador de frequência e *soft start* de potência nominal de 15 kW cada uma, funcionando apenas uma de cada vez (duas de reserva). Outro é composto por duas bombas com *soft start* de potência nominal de 10 kW que funcionam alternadamente uma a uma (uma de reserva).
- Circulação de água gelada às UTAs promovida por um grupo de duas bombas com variador de frequência de 15 kW de potência nominal cada uma que trabalham alternadamente (uma é de reserva).

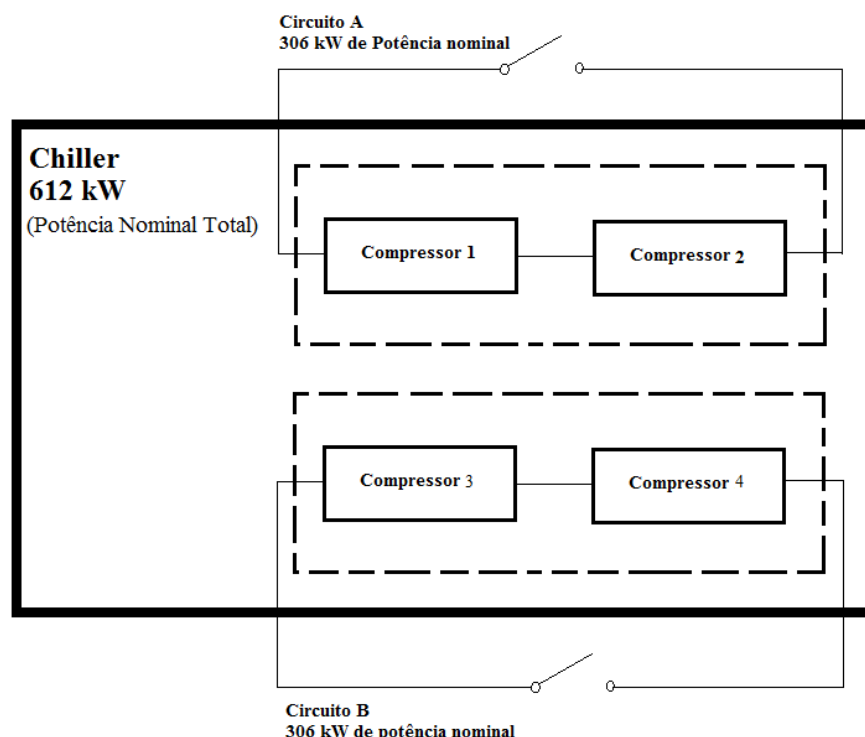


Figura 25 – Esquema conceptual dos circuitos elétricos que alimentam os 4 compressores incluídos em cada um dos dois Chillers instalados

Além destes equipamentos que se destinam à produção e distribuição de água gelada, existem ainda vários ventiladores de extração associados aos vários sanitários e ao *Mall*. Assim, existem 4 ventiladores de extração no *Mall* (de potências nominais de 0.37 kW, 1.1 kW, 3 kW e 4 kW todos com variadores de frequência) e 4 ventiladores de extração dos sanitários (de potências nominais de 1.1 kW em 3 dos ventiladores e 0.75 kW no quarto, todos com variadores de frequência).

Quanto às UTAs, possuem todas iguais características, com potências de insuflação de 15 kW e de extração de 7.5 kW sendo que todos os ventiladores têm associados variadores de frequência.

Os ventiladores possuem também, na sua totalidade, *soft starts*.

4.1.2 Descrição dos consumos energéticos no Centro Comercial

Os consumos energéticos da instalação sob análise resumem-se a consumos de eletricidade, tal como descrito previamente. Esses consumos elétricos poderão ser subdivididos em três fatias correspondentes aos grandes consumidores: sistema AVAC, equipamentos e iluminação.

No que toca à iluminação, a potência total instalada é de cerca de 240 kW, que se subdivide em iluminação interior (*mall*, zonas técnicas e administração) e exterior (parques de estacionamento interior e exterior e *placards* publicitários).

Quanto aos consumos associados a equipamentos, pode-se contabilizar os equipamentos utilizados na administração (computadores, impressoras, frigorífico, micro-ondas) e os equipamentos que os utilizadores poderão esporadicamente ligar às tomadas disponíveis ao público no *mall*.

Por fim, o sistema AVAC consiste num grande consumidor de recursos energéticos, dada a quantidade de equipamentos a ele associados.

Na Figura 26 podem encontrar-se as distribuições percentuais médias mensais dos gastos elétricos médias desde Janeiro até Abril de 2014. A ausência de uma fatia para os equipamentos deve-se ao facto de a sua percentagem ser reduzida relativamente às restantes e portanto não ser significativa.

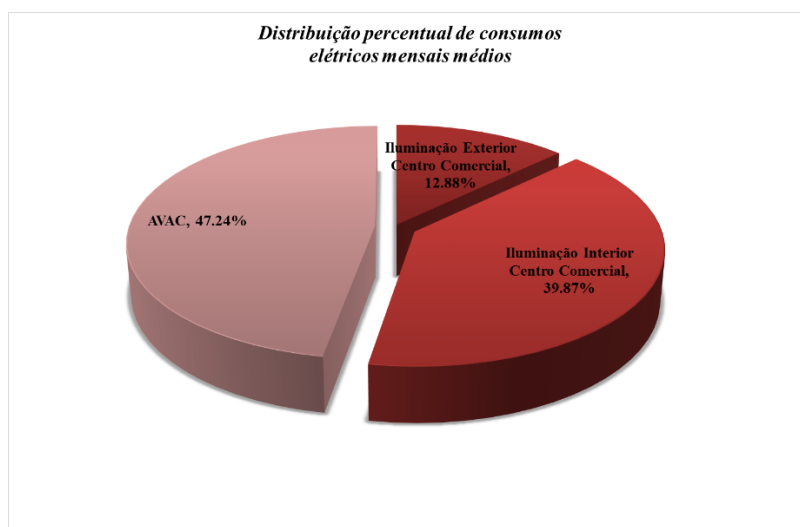


Figura 26 - Distribuição percentual dos consumos elétricos médios mensais em função da finalidade desde o início de 2014 [Fonte: registos internos do Centro Comercial]

4.1.3 Horários de utilização dos vários equipamentos

Neste momento convém estabelecer os horários de utilização das várias valências do empreendimento. Assim, o edifício subdivide-se em 4 tipos de atividades: atividade do hipermercado que se inicia às 8:30 todos os dias e termina pelas 22:00 de Domingo a Quinta e pelas 23:00 às Sextas, Sábados e vésperas de feriados; atividade das lojas interiores que inicia pelas 10:00 todos os dias e termina às 22:00 de Domingo a Quinta e pelas 23:00 às Sextas, Sábados e vésperas de feriados; atividade na administração que funciona em dias úteis das 9:00 às 18:00 com pausa para almoço das 12:30 às 14:00 e ainda a atividade das lojas cujo acesso se dá pelo exterior e que portanto não influenciam o funcionamento do *mall*.

São estes horários que determinam o funcionamento dos vários equipamentos, quer a iluminação que é necessária sempre que o *mall* está aberto ao público, quer em termos de climatização necessária ao normal funcionamento das lojas. Deve notar-se que os consumos das lojas arrendadas e do hipermercado são independentes do restante *mall* e são portanto contabilizados independentemente pelas organizações que arrendam o espaço. Apenas a distribuição de frio às lojas (excetuando o hipermercado) e a ventilação do *mall* está a cargo da administração central do CC tanto em termos de consumos, como em termos de manutenção.

No que toca aos horários de funcionamento dos equipamentos AVAC, os chillers funcionam, conforme se verifique necessário pelas previsões meteorológicas e níveis de gelo nos bancos de gelo, das 02:00 às 06:00. O gelo é armazenado nos bancos e durante o dia é distribuída água gelada das 10:15 às 21:15 no caso do período de Domingo a Quinta-feira e das 10:15 às 22:15 às Sextas, Sábados e Vésperas de feriados. As 3 UTAs funcionam alternadamente com períodos definidos pela administração. Assim, a UTA 1 funciona das 15:00 às 15:45, a UTA 2 das 12:15 às 13:15 e a UTA 3 das 18:00h às 18:30h.

Quanto à iluminação interior, o seu perfil de utilização é muito variável dependendo de fatores como a luz natural disponível em cada dia. Assim, de uma forma geral, a iluminação das sancas laterais do *mall* é ligada pelas 7:00 aquando do início da preparação da abertura do Centro Comercial ao público. Este nível de iluminação mantém-se aproximadamente constante até ao anoitecer, quando se ligam também as sancas que ladeiam as claraboias, aumentando a intensidade de iluminação até ao encerrar do Centro (22:00 de Domingo a Quinta e 23:00 às Sextas, Sábados e vésperas de feriados). A partir do encerramento, permanece ativo apenas um nível mínimo de iluminação suficiente para os vigilantes noturnos circularem bem como as sinalizações de emergência.

No que diz respeito aos parques, o coberto possui iluminação durante todo o dia até à hora de encerramento do Centro, ao passo que o parque a céu aberto possui iluminação quando anoitece e ao longo de toda a noite, mesmo posteriormente ao encerramento. Neste caso, existem também níveis mínimos de iluminação suficientes apenas para proporcionar visibilidade aos vigilantes.

4.1.4 Análise à evolução de consumos energéticos

Na Figura 27 pode observar-se a evolução dos consumos elétricos mensais no Centro Comercial em estudo ao longo dos anos de 2010 a 2013.

Da análise desta evolução pode concluir-se que existe uma clara sazonalidade no consumo elétrico anual entre a estação de aquecimento (meses de Novembro a Março) e a

estação de arrefecimento (de Abril a Outubro). Esta evidência poderá ser entendida como consequência do facto de a carga sobre o equipamento AVAC durante a estação de arrefecimento ser muito superior à carga sobre o mesmo durante a estação de aquecimento. Nesta, as temperaturas são mais baixas e portanto as necessidades de arrefecimento líquidas serão substancialmente reduzidas relativamente às verificadas durante a estação de arrefecimento.

Para confirmar a análise convém verificar a evolução de cada uma das três grandes componentes de consumo (iluminação interior, iluminação exterior e AVAC) ao longo dos mesmos períodos, que se apresenta de seguida. Assim, na Figura 28 pode verificar-se que a tendência de sazonalidade no consumo de energia associado à iluminação exterior segue o sentido oposto ao demonstrado no quadro geral de consumos, apresentando maior consumo na estação de aquecimento e menor na de arrefecimento. A explicação, óbvia, para esta diferença é o facto de que o número de horas com luz natural ser maior na estação de arrefecimento do que na de aquecimento, o que torna as necessidades de iluminação menores na estação mais quente.

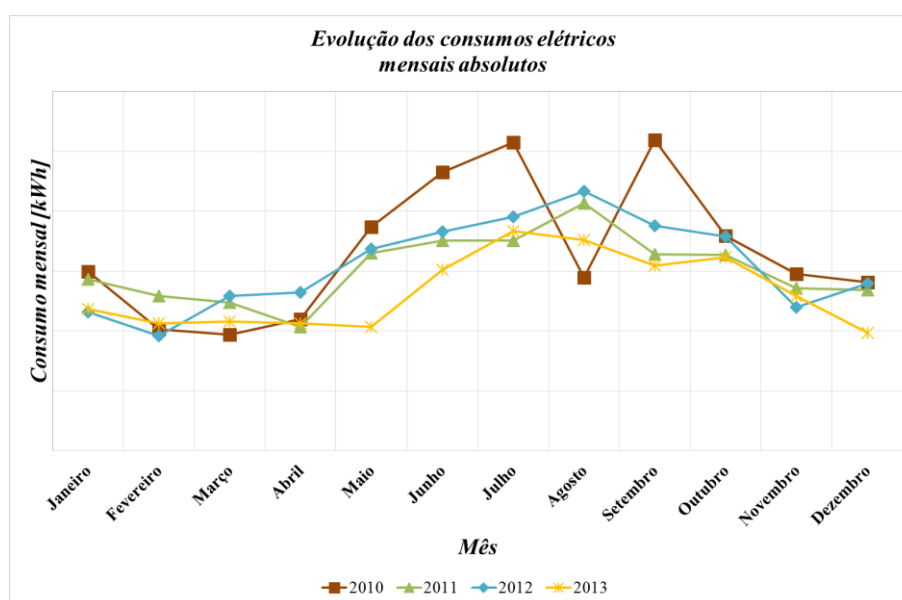


Figura 27 - Evolução comparativa dos consumos elétricos mensais ao longo do ano para o período de 2010 a 2013 [Fonte: registos internos do CC]

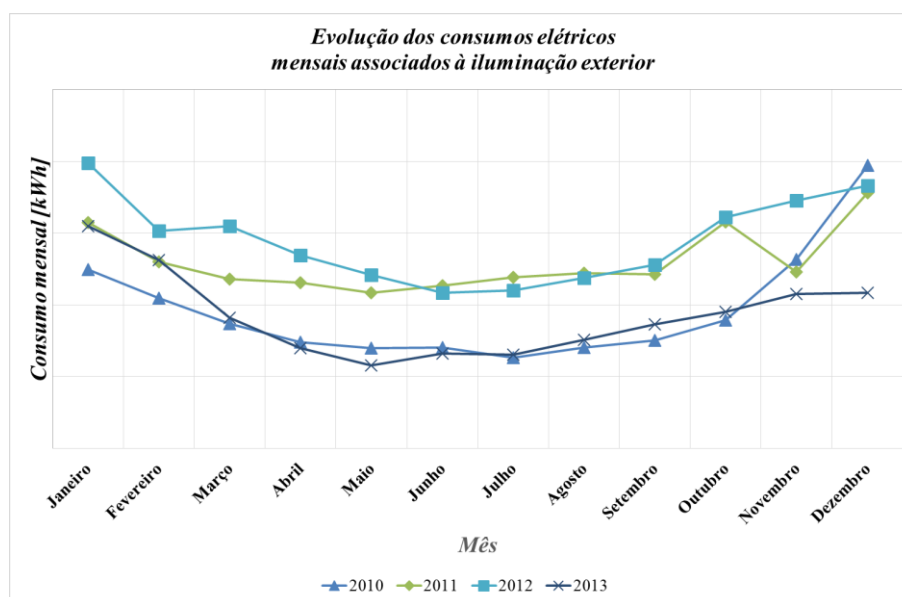


Figura 28 - Evolução comparativa dos consumos elétricos mensais associados à iluminação exterior ao longo do ano para o período de 2010 a 2013 [Fonte: registos internos do CC]

Para o caso da iluminação interior (Figura 29), a relação de sazonalidade, apesar de existir, não é tão evidente, o que está relacionado com o facto de uma parte da iluminação interior ser necessária durante todo o dia, independentemente da intensidade da luz solar exterior. Apesar de o *mall* possuir entradas de luz natural (claraboias) existe uma parte da iluminação interior que se mantém acesa durante o dia, quer por questões de insuficiência de iluminação natural quer por questões de marketing das próprias lojas. No entanto com o anoitecer, a intensidade de iluminação aumenta dentro do *mall*, o que faz com que exista uma tendência de sazonalidade, ainda que mais leve do que o verificado nas outras componentes, do consumo elétrico associada à hora do pôr-do-sol.

No CC verifica-se uma redução nos consumos associados à iluminação interior de ano para ano (Figura 29), o que condiz com as preocupações de gestão associadas à redução de consumos demonstradas pela administração do CC e pelo grupo Chamartín.

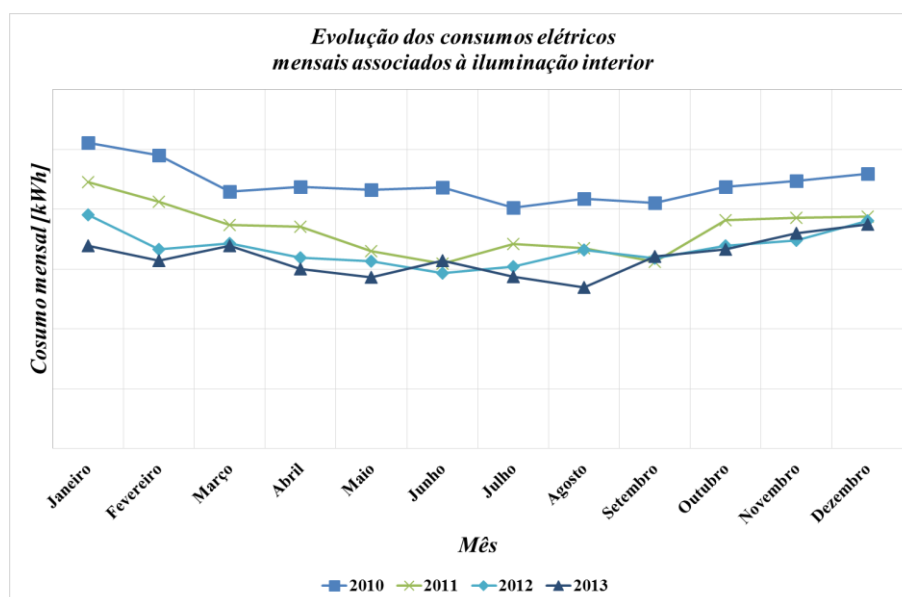


Figura 29 - Evolução comparativa dos consumos elétricos mensais associados à iluminação interior ao longo do ano para o período de 2010 a 2013 [Fonte: registos internos do CC]

Quanto aos consumos energéticos associados ao funcionamento do sistema AVAC, (Figura 30), torna-se claro que a sua tendência de evolução é similar à expressa no consumo global, o que permite concluir que esta será a fatia do consumo que mais influencia o consumo global elétrico no Centro Comercial em questão. Note-se que existe uma quebra de consumo no mês de Agosto do ano de 2010, dado que houve uma grande avaria no sistema nessa altura.

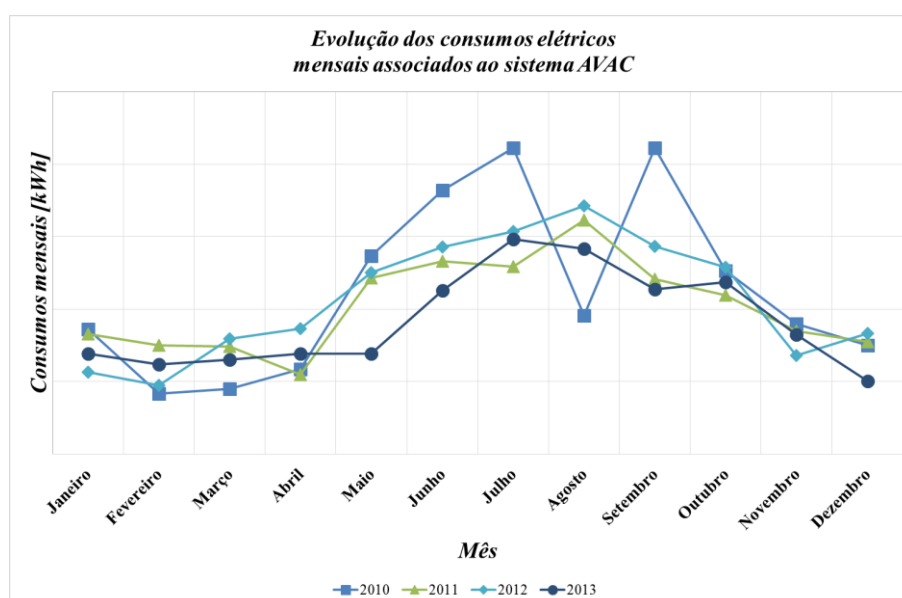


Figura 30 - Evolução comparativa dos consumos elétricos mensais associados ao sistema AVAC ao longo do ano para o período de 2010 a 2013 [Fonte: registos internos do CC]

4.2 Metodologia de Monitorização dos consumos energéticos

Importa nesta altura fazer uma breve apresentação daquilo que é a distribuição de eletricidade ao Centro Comercial como forma de introduzir quais os equipamentos que serão monitorizados e assim fundamentar as conclusões retiradas.

Desta forma, os quadros elétricos estão, numa primeira fase, agregados segundo setores de consumo (Figura 31). Existem quadros dedicados ao fornecimento de eletricidade aos chillers (dois quadros por cada Chiller que dizem respeito aos dois circuitos independentes de cada uma das máquinas). Outro é dedicado a toda a circulação de água fria, desde o primário à distribuição às lojas, ao passo que outros dois quadros agregam a ventilação (UTAs e demais ventiladores) e um quadro é dedicado à alimentação de todas as tomadas e iluminação. Por fim, dois quadros que alimentam os outros todos e portanto são o geral.

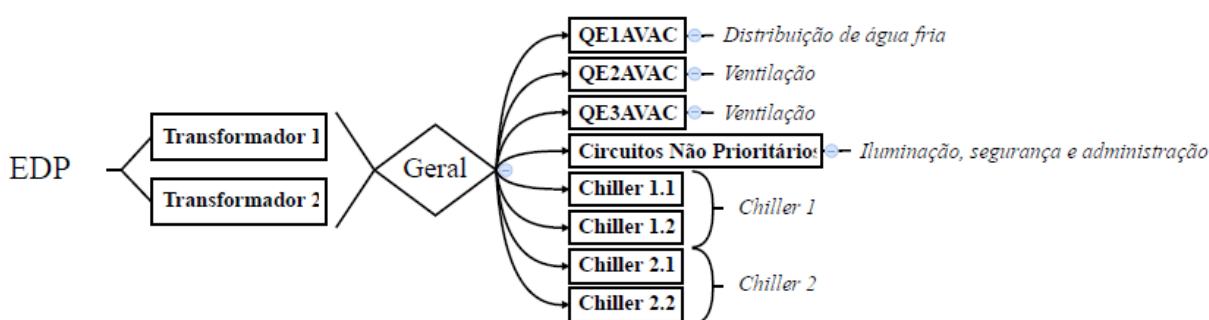


Figura 31 – Estrutura de abastecimento de eletricidade aos vários quadros

Como tal, para analisar de forma crítica os consumos dos diferentes equipamentos, eles deveriam ser separados, monitorizando-se cada um dos consumidores individualmente. Dessa forma, seria possível avaliar o seu impacto nos consumos totais e ordená-los por prioridade de atuação em termos de aplicação de medidas de poupança, tendo em conta o seu peso no consumo total do Centro Comercial. Por conseguinte, e considerando este objetivo, devem monitorizar-se todos os setores consumidores de energia, nomeadamente: sistema AVAC (subdividido nos variados setores como geração e distribuição de água gelada, ventilação, etc.), iluminação interior, iluminação exterior e equipamentos. Devido a variadas condicionantes não foi possível medir em separado todas as variáveis de forma a obter um perfil de consumo pormenorizado por setor e por equipamento terminal. A Figura 32 apresenta o esquema dos equipamentos/sistemas que efetivamente serão monitorizados acompanhado de uma breve descrição dos sistemas que lhes estão associados. É de notar que a alimentação de energia elétrica (o geral) está dividida em dois transformadores (1 e 2) que serão monitorizados.

Assim, face às limitações, serão monitorizados grandes setores que têm agregados vários consumidores finais de energia (Figura 32). No que toca ao sistema AVAC conseguir-se-á separar a distribuição de água gelada da ventilação, no entanto, quanto à iluminação, ela está agregada a diferentes analisadores o que leva a uma impossibilidade de separação completa daquilo que é iluminação interior e exterior.

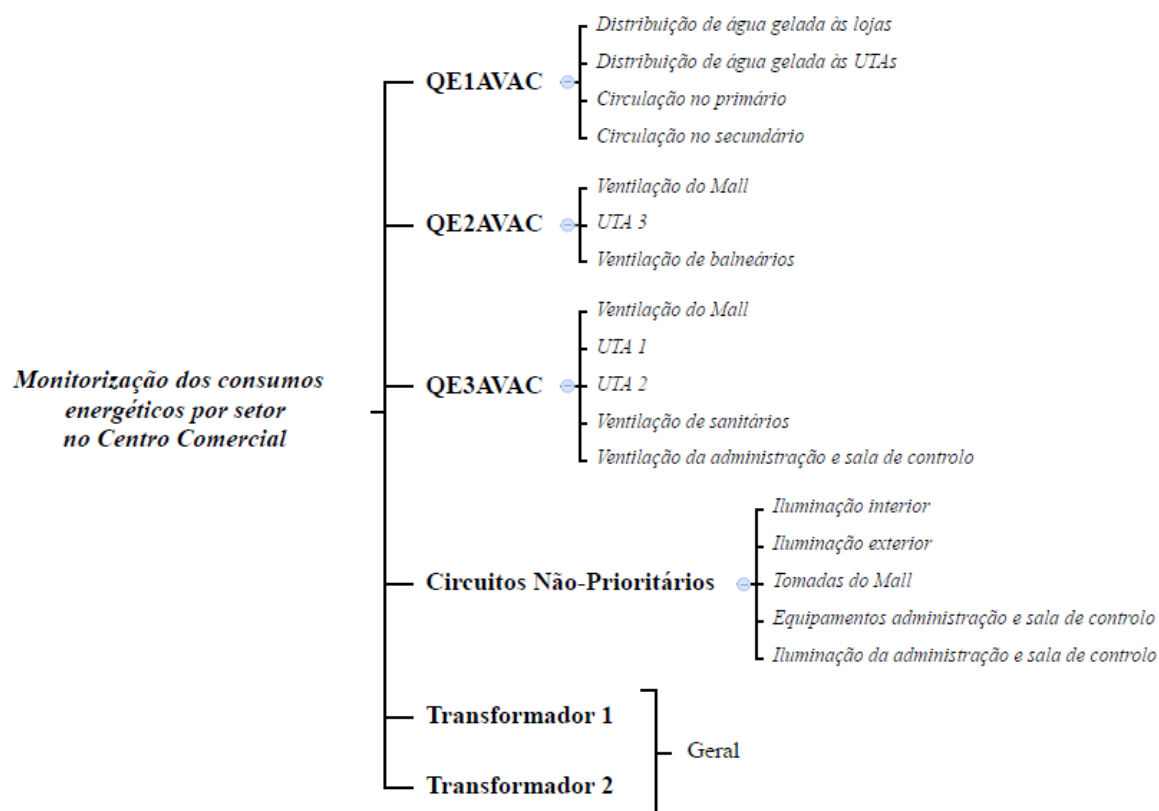


Figura 32 – Esquema resumo da monitorização dos sistemas e dos subsistemas de alimentação dos diferentes equipamentos

Serão portanto monitorizados os quadros: QE1AVAC, QE2AVAC, QE3AVAC, Circuitos Não-Prioritários, Transformador 1 e Transformador 2.

Desse modo, da monitorização apresentada é possível obter dados horários do consumo de energia elétrica de cada quadro de distribuição, que correspondem aos consumos agregados dos vários equipamentos afetos aos vários subsistemas de alimentação. O perfil de utilização de cada um dos quadros monitorizados deve ser estabelecido e comparado com os dados recolhidos no terreno a fim de concluir acerca dos fatores que influenciam os seus consumos energéticos.

A Figura 33 apresenta, em resumo, o tipo de equipamentos alimentados por cada um dos quadros AVAC e da sua potência nominal (soma das potências nominais de todos os equipamentos alimentados por cada um dos quadros). Quanto aos circuitos não-prioritários, apenas se poderá fazer uma estimativa da potência de iluminação instalada com base nos dados de projeto, já que a contabilização *in loco* do número de lâmpadas e respetiva potência se revelou inviável, considerando o tempo disponível para concluir a análise. No entanto, fica salvaguardado que o valor de potência nominal elétrica será apenas indicativo, pois existem inevitáveis diferenças entre o projeto e o que está efetivamente instalado. Ademais, ao longo dos anos, foram realizadas diversas substituições que levaram a alterações pontuais de potência, pelo que a sua correta contabilização representa um elevado consumo de tempo de levantamento, não disponível neste projeto.

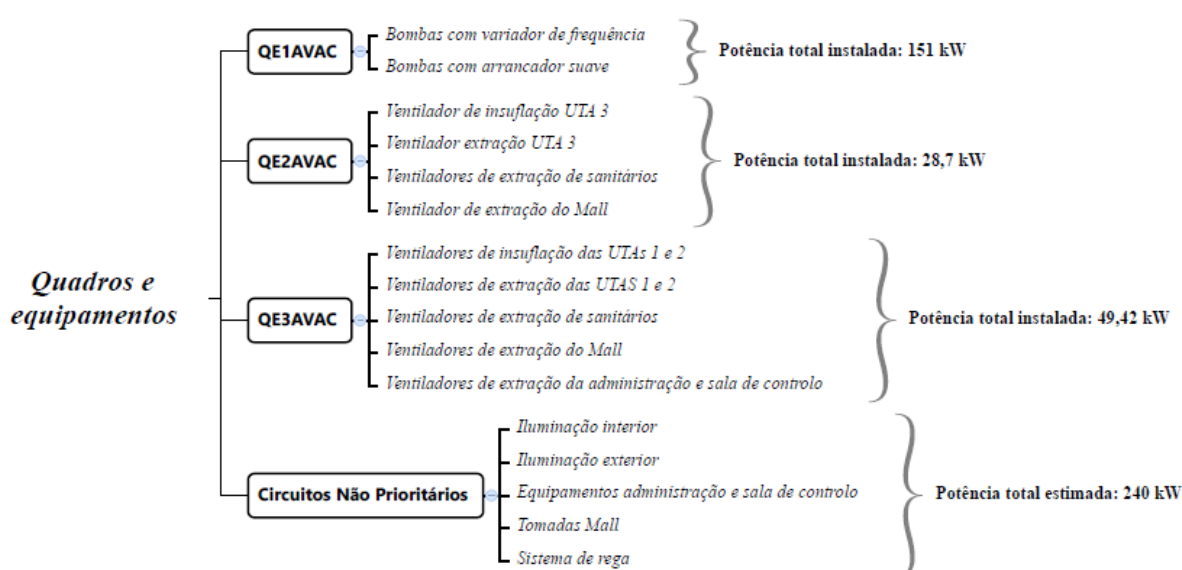


Figura 33 –Esquema resumo dos equipamentos alimentados e potências instaladas em cada quadro

Para além dos consumos associados aos quadros descritos na Figura 33 existem ainda a considerar, para descrever completamente os gastos energéticos no CC, os consumos dos quadros associados aos Chillers e que são dedicados a estas mesmas máquinas. Devido a problemas de instalação do sistema de monitorização, esses consumos não puderam ser monitorizados, no entanto serão inferidos de forma indireta. Dado que os Chillers trabalham em horário noturno, através da subtração entre o quadro geral e os restantes consumos que dizem respeito, neste período, apenas à iluminação, será possível inferir os consumos associados àqueles equipamentos.

É ainda necessário, para posterior análise dos consumos dos quadros, monitorizar outras variáveis que os influenciem. As variáveis, chamadas independentes, consideradas foram a temperatura exterior horária (retirada da base de dados associada ao *website* WeatherUnderground - <http://www.wunderground.com/> para a localização de Ovar) e a ocupação horária fornecida pela administração do CC. Estas foram consideradas as variáveis que mais influenciam os consumos energéticos associados à climatização do edifício.

Monitorização contínua dos consumos energéticos em centros comerciais e consequente influência no seu desempenho energético

5 Apresentação e discussão de resultados

Esta secção dirá respeito à apresentação dos resultados da monitorização bem como a sua análise sob várias metodologias. Tem como objetivo final inferir-se acerca do máximo de padrões possíveis e culminar na proposta de medidas concretas de atuação para a redução efetiva dos consumos energéticos.

5.1 Avaliação de padrões de consumos

Nesta fase serão apresentados os resultados das observações contínuas de consumos em duas fases. Primeiro serão avaliados os perfis de consumos diários, comparando-os com aquilo que seria de esperar a nível teórico com base num levantamento exaustivo *in loco* de todos os equipamentos alimentados por cada um dos quadros e respetivas potências nominais. Esta comparação é realizada apenas para dois dias escolhidos seguindo critérios que permitem a comparação entre esses perfis diários, nomeadamente o dia da semana ser o mesmo para que os horários de utilização dos diversos equipamentos sejam idênticos.

Depois desta primeira análise será realizada a correlação entre todos os dados recolhidos e as duas variáveis independentes selecionadas (temperatura exterior e ocupação) recorrendo ao *software* de estatística IBM SPSS Statistics®.

Após a definição do procedimento é necessário proceder a uma validação experimental dos dados obtidos através da monitorização recorrendo ao sistema de monitorização instalado.

5.3.1 Validação experimental

A metodologia de validação experimental irá basear-se na comparação entre os dados recolhidos experimentalmente e os dados fornecidos pela administração do centro comercial, quanto à distribuição percentual de consumos dos três grandes consumidores energéticos (iluminação interior, iluminação exterior e sistema AVAC). Assim, é possível verificar que o AVAC (47,2%) e a iluminação (52,8%) são os únicos consumidores do CC (Figura 26), incluindo-se na parcela da iluminação o consumo associado aos equipamentos que por ser muito reduzido comparativamente aos restantes, não será incluído.

Na Figura 34 e na Figura 35 são apresentadas as distribuições percentuais de consumos registados em cada um dos quadros para dois períodos diferentes: de 2 de abril a 12 de maio e de 13 de maio a 27 de Abril. Esta diferença nos dois períodos está relacionada com o facto de o QE3AVAC só ter começado a sua monitorização no dia 13 de Maio devido a questões técnicas alheias a este projeto.

É de salientar que a componente que dá pelo nome de “sem dados” dirá possivelmente respeito à componente de consumo dos Chillers (Figura 35) e que antes de 13 de maio diz respeito aos consumos dos Chillers e do QE3AVAC (Figura 34).

A iluminação representa, aproximadamente, 44 a 47% dos consumos segundo os dados da monitorização, restando para o sistema AVAC cerca de 53 a 57% do total de consumo de energia elétrica. Estes dados são próximos da média apresentada para o período de Janeiro a Abril de 2014 (Figura 26). Conclui-se que os pesos relativos dos vários consumidores registados na monitorização coincide com o verificado.

Com base nos dados recolhidos (Figura 35) é possível fazer uma discretização dos consumos (*Energy breakdown*), ou seja, determinar qual a relevância percentual de cada

consumidor energético relativamente ao consumo energético total. Assim, deste modo conclui-se que os consumos agregados de iluminação (interior e exterior), administração e sala de controlo têm uma relevância de 44% nos consumos totais energéticos do CC. Os consumos AVAC restantes terão uma relevância agregada de 66%, subdividindo-se em consumos associados à ventilação (extração e UTAs) que representam 4%, distribuição de água gelada que agrega 25% e a última componente representada pela componente “sem dados” e que se considera ser devida aos consumos dos Chillers que representam 27% (Figura 36).

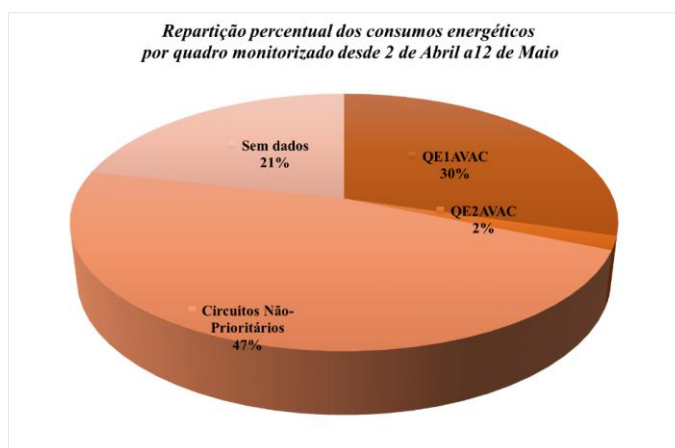


Figura 34 – Repartição percentual dos consumos energéticos em cada um dos quadros monitorizados no período de 2 de Abril a 12 de Maio

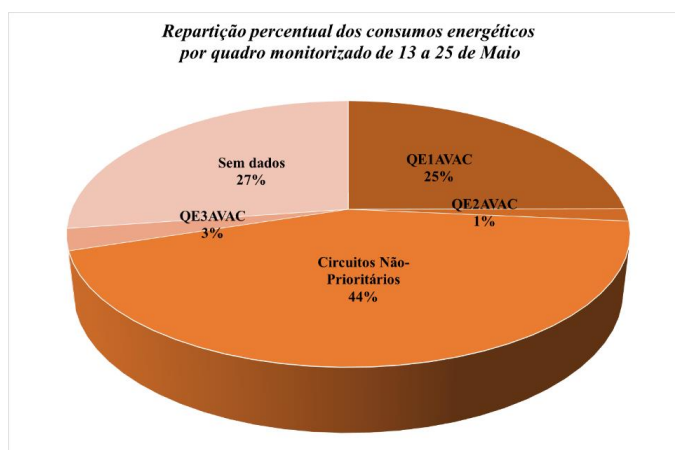


Figura 35 – Repartição percentual dos consumos energéticos em cada um dos quadros monitorizados no período de 13 a 27 de Maio

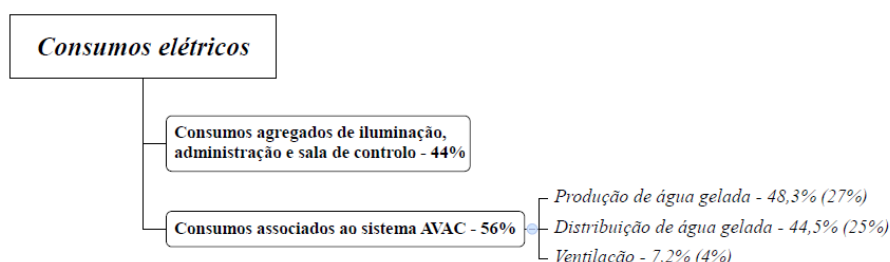


Figura 36 – Discretização dos consumos segundo áreas consumidoras de energia (“EnergyBreakdown”)

5.3.2 Análise dos perfis de consumo energéticos diários em cada um dos quadros elétricos

A metodologia seguida, para análise dos perfis de consumo, consistiu na realização de visitas à instalação em que foram catalogados todos os equipamentos e respetiva potência nominal associados a cada um dos quadros elétricos. Recolheram-se todos os dados de horários segundo os quais esses mesmos equipamentos ligam ou desligam. Conjugando estes dados, estabeleceram-se perfis teóricos de utilização energética para cada um dos quadros elétricos.

Verificou-se que os horários dos equipamentos são variáveis ao longo da semana, uma vez que o próprio centro comercial tem horários diferentes nestes dois períodos, dividiu-se a semana em dois grandes grupos: dias úteis (que consistem no período entre Domingo e Quinta-feira) e finais de semana (Sextas-feiras e Sábados). No caso dos quadros de ventilação (QE3AVAC) detetou-se que podem existir ainda mais períodos já que o Domingo é um dia de grande afluência ao Centro Comercial, o que torna as necessidades da ventilação neste dia ser diferente dos restantes dias úteis. Portanto neste caso, existirão 4 períodos de funcionamento (de Segunda a Quinta, Sexta, Sábado e por final Domingo), todos com especificidades diferentes.

Realizou-se, ainda, uma análise para cada um dos quadros incidente no número de horas a que o quadro funciona a uma dada potência próxima, ou não, da nominal estabelecida.

5.3.1.1 QE1AVAC – distribuição de água fria

Conforme referido anteriormente, o quadro QE1AVAC tem a si alocada a distribuição de energia elétrica ao sistema de bombagem de água refrigerada, incluindo o primário (circulação de água gelada produzida nos Chillers para os bancos de gelo), o secundário (transporte de água fria dos bancos para o circuito de distribuição de água fria), e ainda, a distribuição água refrigerada às lojas e às UTAs.

Assim, o quadro possui dois perfis de utilização bem definidos e distintos. Um deles diz respeito ao período noturno, em que funcionam as bombas associadas ao primário pois é o período em que os Chillers estão em funcionamento para produzir gelo. O outro está relacionado com o período diurno, durante o qual entram em funcionamento as bombas do secundário e da distribuição de água fria às lojas e às UTAs. Esta diferenciação pode ser encontrada de forma clara na Figura 37 e na Figura 38.

Nas duas figuras seguintes (Figura 37 e Figura 38) são apresentados, respetivamente, os consumos de energia elétrica em dois dias de monitorização por cada uma delas e comparados com o perfil teórico esperado para aqueles dias.

Existem algumas diferenças claramente perceptíveis entre a evolução teórica dos consumos estabelecida e a evolução realmente verificada através da monitorização. Uma delas é a de que no período noturno, a potência nominal teórica está, em 3 dos 4 dias utilizados para comparação, abaixo em aproximadamente 50% da teórica. Este facto deve-se a que, na base do cálculo da energia consumida ao longo deste período esteve a consideração de que os dois Chillers estariam a funcionar durante este período para proceder ao armazenamento de gelo no banco. No entanto, pelo facto de por vezes a temperatura exterior o exigir, nem sempre os dois Chillers trabalham em conjunto, bastando, na maioria dos dias

da estação de aquecimento, um deles carregar os bancos para que o gelo seja suficiente para arrefecer o CC no dia seguinte. Por essa razão, apenas uma das bombas está em carga, daí que os consumos sejam metade dos previstos (as duas bombas têm a mesma potência nominal).

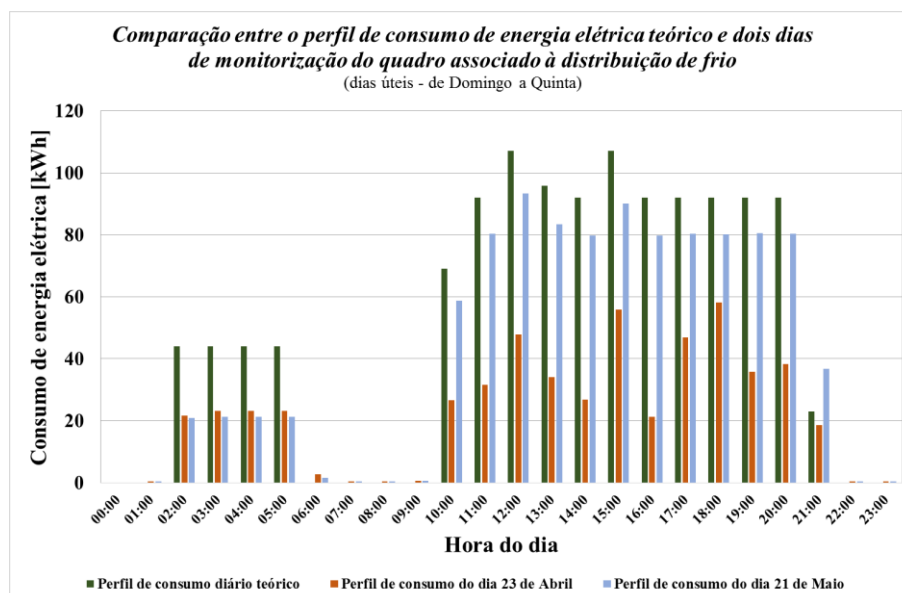


Figura 37 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE1AVAC (distribuição de frio) para dias úteis (Domingo a Quinta)

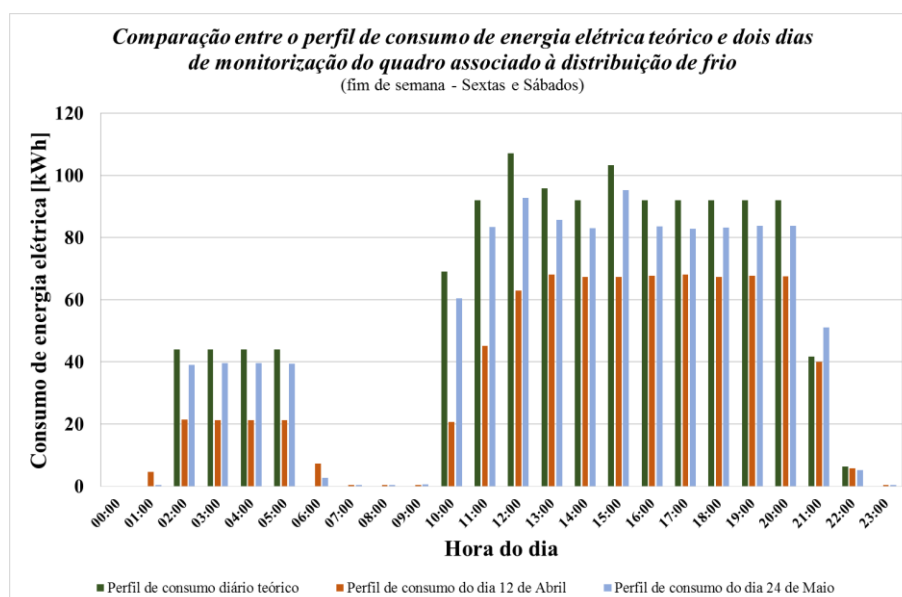


Figura 38 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE1AVAC (distribuição de frio) para finais de semana (Sextas e Sábados)

O perfil progressivo que se verifica entre as 10:00 e as 12:00 deve-se ao facto de pelas 10:15 ligar a distribuição de água fria e pelas 12:00 ligar a UTA 2, ativando-se igualmente a distribuição de água fria à mesma. Depois deste pico, o consumo diminui devido ao desligar da UTA pelas 13:15, voltando a ter novo pico pelas 15:00, hora a que liga a UTA 1. A UTA 3, por ter o arrefecimento do ar desligado, não se faz sentir neste perfil.

De uma forma geral, os dias seleccionados para comparação seguem este perfil teórico, com diferentes consumos já que os variadores de frequência ajustam as potências das bombas

às necessidades de arrefecimento nas lojas, variando o seu valor de dia para dia conforme a ocupação e a temperatura exterior. No entanto, no dia 12 de abril o perfil afasta-se do esperado, o que se deve a uma avaria num variador de frequência de uma das bombas, que se verificou desde o dia 9 de abril e foi solucionada a 15 de abril. O perfil constante de consumo das 13:00 até às 20:00 faria prever justamente que seria um problema de ajuste da potência de bombagem às necessidades de arrefecimento e portanto provavelmente um ou vários variadores de frequência estariam em funcionamento deficitário.

Depois de analisadas as evoluções diárias e a confirmação de que o perfil de evolução estabelecido através da definição de horários na Gestão Técnica Centralizada (GTC) está a ser cumprido, há necessidade de se conhecer o perfil de consumos durante todo o período de monitorização. Assim, apresenta-se na Figura 39 um esquema que permite visualizar através de uma escala de cores a evolução dos consumos registados em termos horários de dia para dia para o quadro QE1AVAC. De notar que os espaços preenchidos a brancos são horas sem leituras de dados resultantes de problemas de comunicação do sistema. Por outro lado, a hora registada neste esquema (Figura 39) está atrasada uma hora relativamente à hora legal, portanto sempre que se queira comparar os dados das figuras anteriores deve-se somar uma hora ao apresentado na Figura 39.

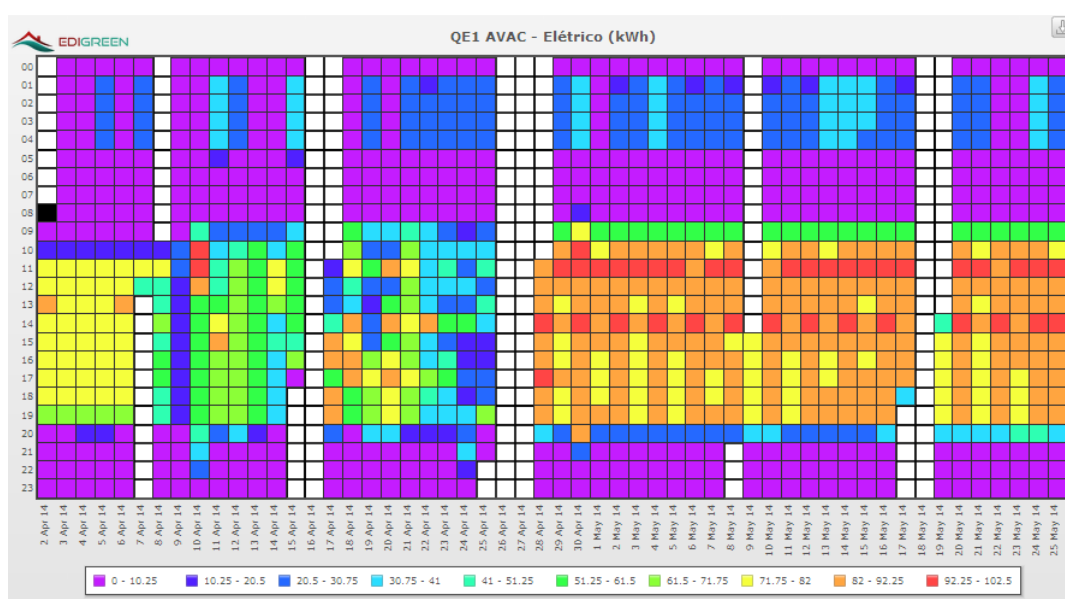


Figura 39 - Evolução dos consumos horários no quadro QE1AVAC de dia para dia entre 2 de abril e 25 de maio

Na figura pode visualizar-se, de forma clara, que a partir de dia 9 de Abril o horário de distribuição de água fria às lojas foi alargado, sendo que até esta data o perfil era constante em termos diários, o que terá como razão o aumento de temperatura exterior. A semana seguinte (entre dia 9 e 15 de Abril) deve ser excluída da análise já que, conforme foi referido, detetou-se uma avaria num variador de velocidade que provocou desvios nos consumos registados relativamente ao que seria normal naquele período.

Entre 16 e 25 de Abril verifica-se um perfil altamente irregular, o que poderá estar relacionado com o facto de a temperatura exterior naquele período ter sido aproximadamente constante (entre os 16 e os 17°C) e portanto a ocupação ser a variável com maior influência nas necessidades de arrefecimento das lojas.

A partir de dia 26 o perfil estabiliza de forma clara, assumindo os picos de consumo nos horários de funcionamento das UTAs conforme seria expectável.

Uma outra análise, imediata, é avaliar a frequência em que as diferentes potências médias horárias são observadas no quadro elétrico que serve o AVAC (QE1AVAC) face à potência nominal (Figura 40), estabelecida com base na inspeção à instalação.

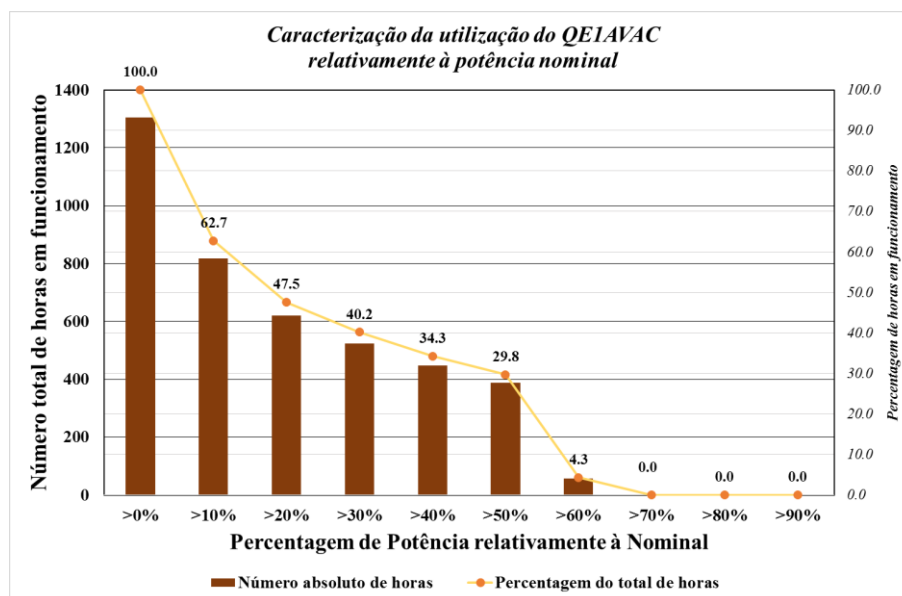


Figura 40 - Caracterização do quadro QE1AVAC quanto à percentagem de utilização do mesmo relativamente à Potência Nominal

A partir da Figura 40, que diz respeito ao período de 2 de Abril a 2 de Junho, e cuja potência nominal (PN) considerada foi de 151 kW, pode considerar-se que a evolução traduz que o sistema está a funcionar, na maior parte do tempo, a uma carga entre 0 e 10% do máximo nominal, seguido da faixa entre os 50 e 60% da nominal. Nota-se que o número de horas a que a carga excede 70% da PN é nulo, o que faz prever um sobredimensionamento da potência total instalada. No entanto, é recomendado que o período de leituras seja alargado para que se possa concluir que esse sobredimensionamento é real, já que o período de monitorização é curto e durante uma altura do ano em que a carga sobre o sistema de arrefecimento ainda é reduzida.

5.3.1.2 QE2AVAC – Ventilação

Quanto ao quadro QE2AVAC, as funções a ele destinada centram-se na ventilação do espaço, nomeadamente da UTA 3, dos ventiladores de extração do *mall* e dos sanitários. À semelhança dos restantes quadros elétricos, também o perfil de utilização deste é diferente entre o período diurno e noturno, já que os ventiladores apenas funcionam no período de abertura do Centro Comercial, segundo horários bem definidos, o que faz com que apenas se registem consumos no período diurno.

Os horários de funcionamento acompanham o período de funcionamento do *mall*, logo diferem para o período de Domingo a Quinta (considerado o período de dias úteis) e Sexta e Sábado (considerando-se este o período de fim de semana). Na Figura 41 e na Figura 42 podem encontrar-se os perfis de consumo teóricos e recolhidos em dois dias aleatórios para cada um desses períodos.

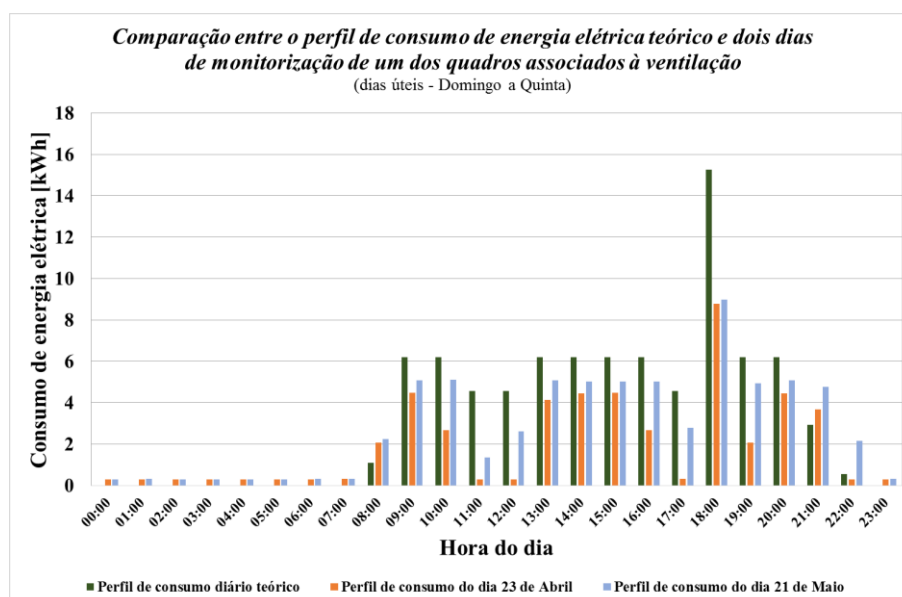


Figura 41- Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE2AVAC (ventilação) para dias úteis (Domingo a Quinta)

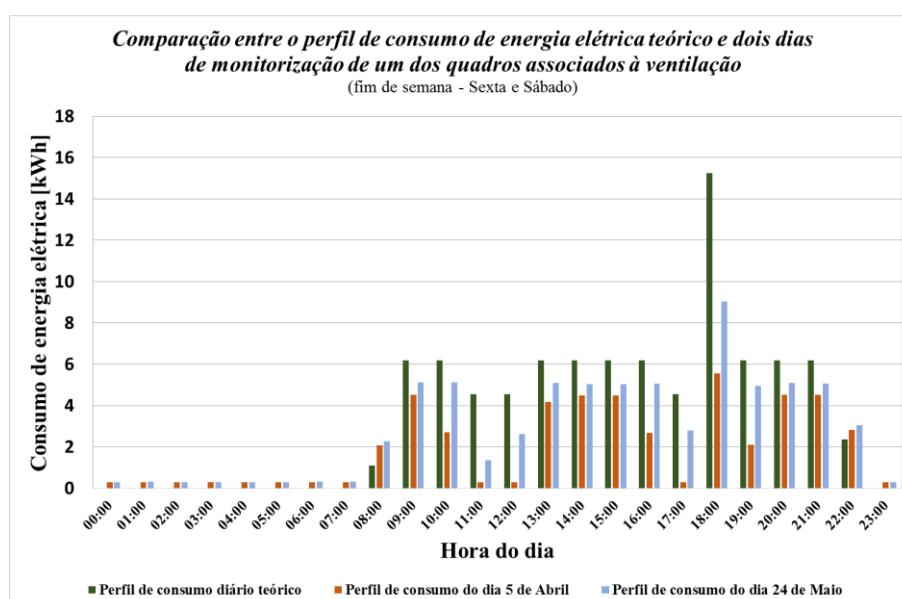


Figura 42 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE2AVAC (ventilação) para dias finais de semana (Sextas e Sábados)

O perfil variável de hora para hora do consumo estimado deve-se aos horários variáveis dos vários ventiladores de extração que funcionam das 9:00h até ao fecho do CC na extração do *mall* e das 8:30h às 11:30h, das 13:00h às 17:00h e das 19:00 ao encerramento na extração dos sanitários. A hora de maior consumo corresponde ao período em que a UTA3 está ligada e que corresponde às 18:00h.

Pode verificar-se pela comparação dos consumos efetivamente registados que o perfil previsto é seguido em termos de horários de funcionamento, o que indica que os horários estão a ser cumpridos e os variadores de frequência a funcionar, já que os consumos são diferentes dos nominais. Contudo, existem casos em que se verifica um consumo efetivo superior ao que seria de esperar em determinadas horas específicas, por exemplo nos dias 5 de

abril, 24 maio (às 8:00 e às 23:00 (Figura 42), e ainda nos dias 21 e 23 de abril às 8:00, 21:00 e às 22:00 (Figura 41). Esta evidência é contrária ao que seria de esperar, ou seja, que o perfil teórico balizasse o máximo possível de consumo para cada uma das horas, já que corresponde ao consumo gerado por todos os equipamentos ligados àquela hora a funcionar à potência nominal. Assim, será esta uma indicação de deficiente declaração de equipamentos associados ao respetivo quadro monitorizado, ou problemas com os horários de funcionamento que não estão a ser respeitados. O consumo indicado faz prever que os dois ventiladores estão a funcionar à potência nominal durante aquela hora quando seria suposto apenas funcionarem durante meia hora (a partir das 8:30).

Na Figura 43 representa-se a distribuição dos consumos horários do quadro QE2AVAC, de notar que esta figura apresenta as mesmas questões apontadas à Figura 39.

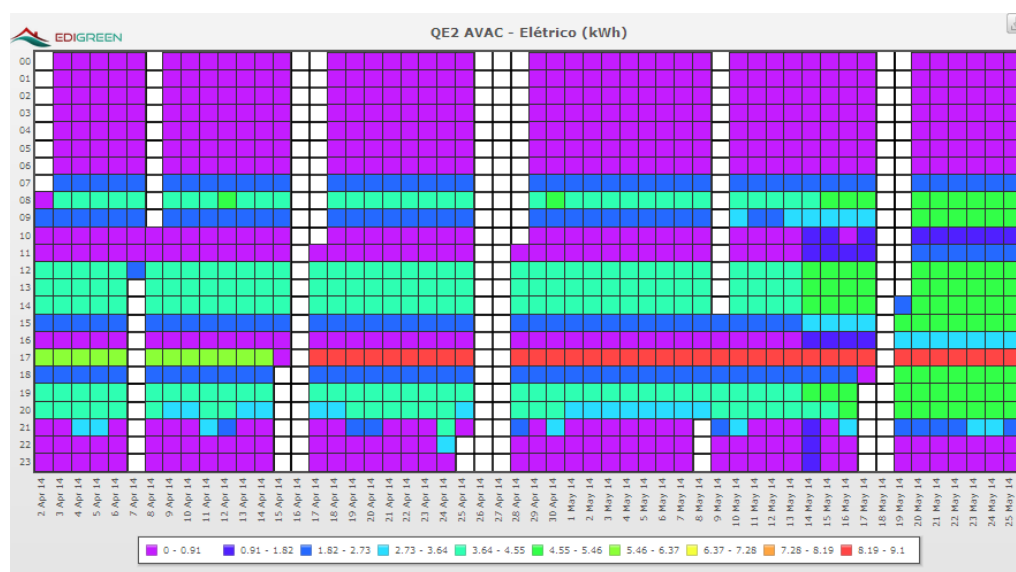
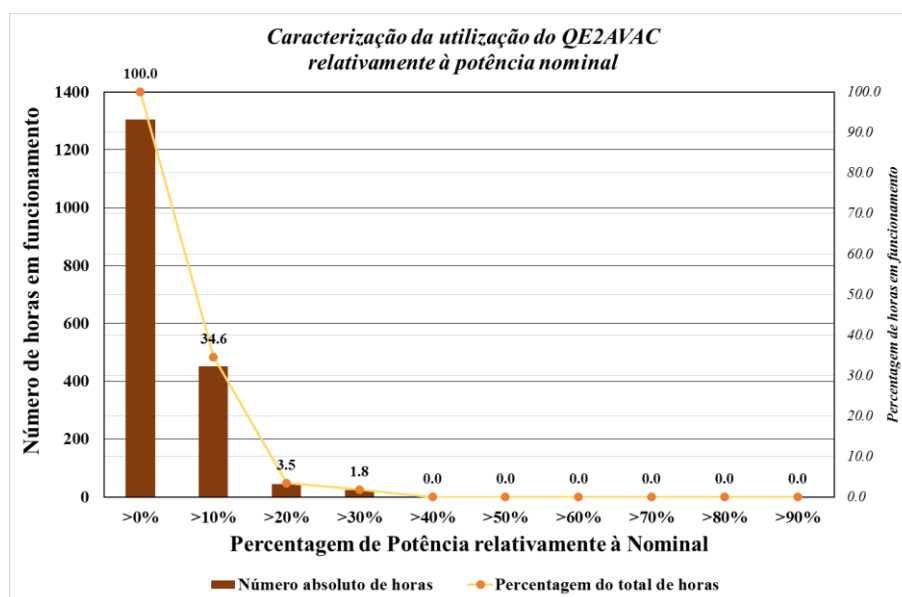


Figura 43- Evolução dos consumos horários no quadro QE2AVAC de dia para dia entre 2 de Abril e 25 de Maio

Pode verificar-se que os horários estão a ser cumpridos ao longo do período e que as horas de maior consumo coincidem com a hora a que a UTA 3 está a funcionar. A partir do dia 15 de maio nota-se um claro aumento nos consumos que estarão associados a um aumento da temperatura exterior e, portanto, um funcionamento com maior potência dos ventiladores. Também se denota que entre as 11:00 e as 12:00, bem como às 17:00, a partir deste dia, estão ligados equipamentos que antes deste período não estavam. Tal facto prende-se com o ligar de alguns ventiladores que estavam até ali desligados relacionando-se também, segundo apurado, com o aumento da temperatura de forma generalizada.

Seguindo a metodologia da análise do quadro anterior, efetuou-se a análise da potência média horária observada non período de análise (Figura 44). Sabendo que a PN considerada foi de 28.7 kW, uma vez que foi estabelecida com base numa inspeção à instalação, observe-se a que a potência média horária é inferior a 30% da PN, o que alerta para um problema de sobredimensionamento do sistema ou então para uma não-utilização dos equipamentos instalados. De uma forma geral pode significar um desajuste da instalação ao seu real funcionamento



(Figura 44 - Caracterização do quadro QE2AVAC quanto à percentagem de utilização do mesmo relativamente à Potência Nominal (28.7 kW)

5.3.1.3 QE3AVAC – Ventilação

Quanto ao QE3AVAC, a análise será idêntica à realizada no quadro QE2AVAC já que os equipamentos por ele alimentados são do mesmo tipo mas com horários de funcionamento diferentes. Deve-se ressaltar que para o caso deste quadro os horários que se devem analisar são diferentes já que existem perfis de funcionamento diferentes para o período de Segunda a Quinta (Figura 46), Sexta (Figura 45), Sábado (Figura 47) e Domingo (Figura 48).

Assim nas quatro figuras que se apresentam de seguida podem encontrar-se as comparações entre o perfil teórico estabelecido com base na utilização dos quadros elétricos com dois dias de monitorização para cada um dos períodos de funcionamento considerados.

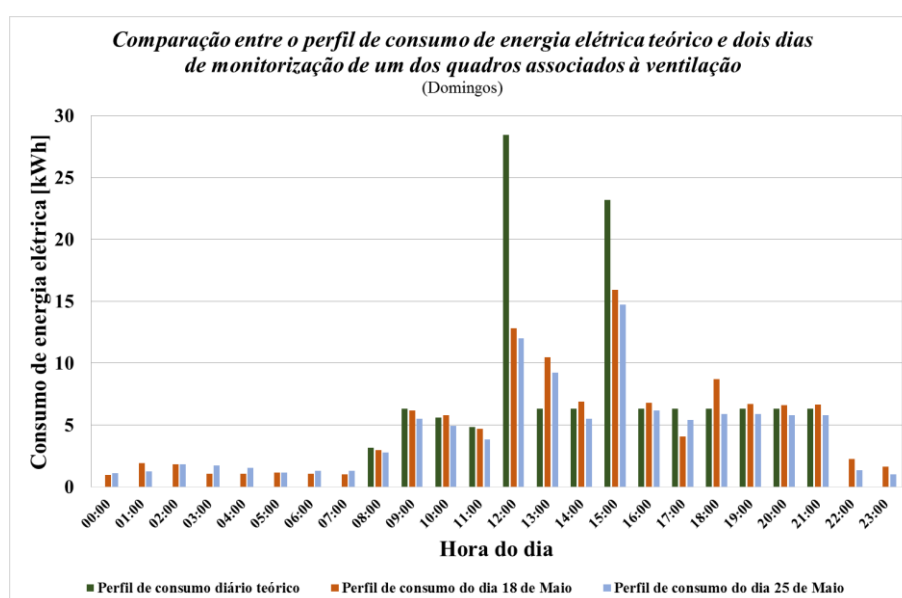


Figura 45 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE3AVAC (ventilação) para os Domingos

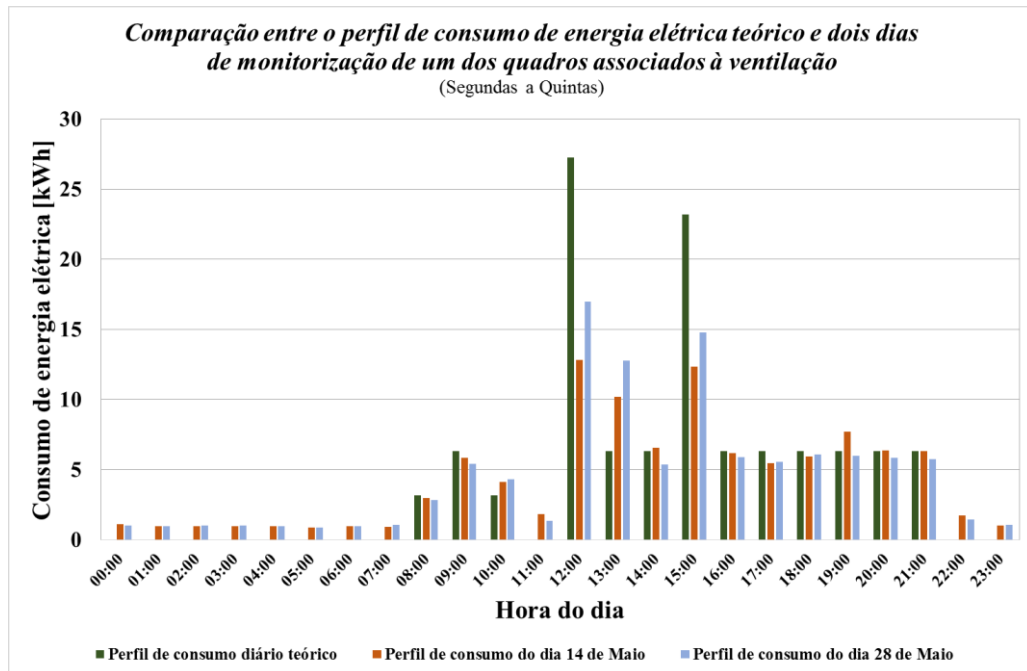


Figura 46 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE3AVAC (ventilação) para os dias úteis (Segunda a Quinta)

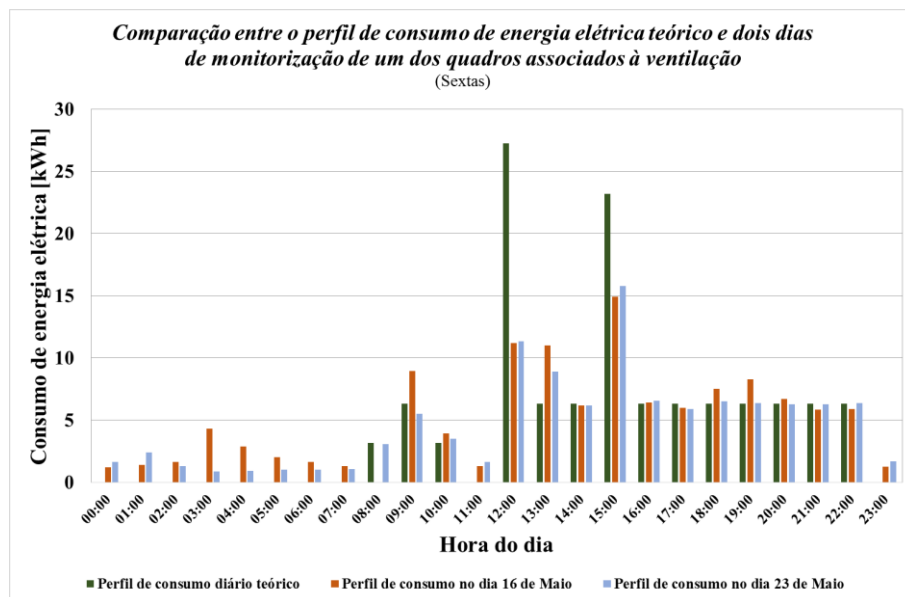


Figura 47 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórica e dois dias de monitorização do quadro QE3AVAC (ventilação) para as Sextas

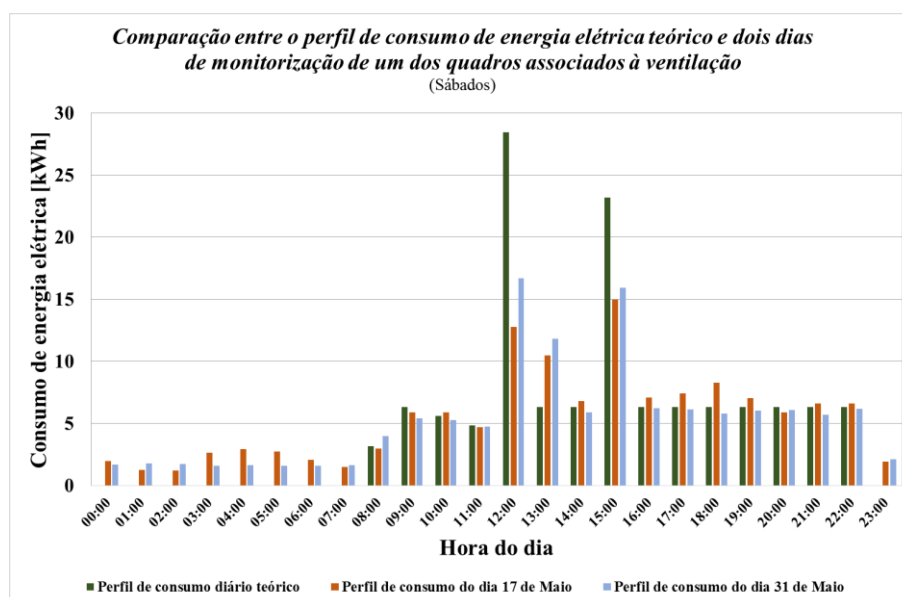


Figura 48 - Comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica teórico e dois dias de monitorização do quadro QE3AVAC (ventilação) para os Sábados

Pode observar-se, de uma forma geral, que existem diferenças de perfil para perfil em termos de evolução dos consumos. Esta é causada pelos diferentes horários de ligar e desligar dos equipamentos que foram impostos pela administração, tendo em conta as necessidades de ventilação criadas pela ocupação. Por esta razão, aliado ao facto de o horário de encerramento não ser constante, distinguem-se todos os perfis apresentados. Da comparação entre o que é teórico e o que é monitorizado podem inferir-se várias situações, entre as quais se destaca que o perfil efetivo segue em termos de ligar e desligar o que está previsto em termos teóricos. Os máximos coincidem com as horas de ligar e desligar das UTAS e o consumo, ao longo das 24 horas do dia, nunca é nulo. Suspeita-se de que existe, algum equipamento parasita ligado a este quadro e que não está a ser tido em conta já que não se conhece o mesmo.

Na Figura 49 pode consultar-se um esquema que permite visualizar através de uma escala de cores a evolução dos consumos registados em termos horários de dia para dia para o quadro QE3AVAC. O período de monitorização deste quadro é mais curto do que os restantes devido a dificuldades de instalação que atrasaram a recolha de dados. Note-se que os espaços brancos consistem em períodos sem leituras e que a hora apresentada nesta figura está atrasada uma hora relativamente aos perfis apresentados nos horários, sendo necessário somar uma hora à presentemente apresentada para tornar os consumos comparáveis.

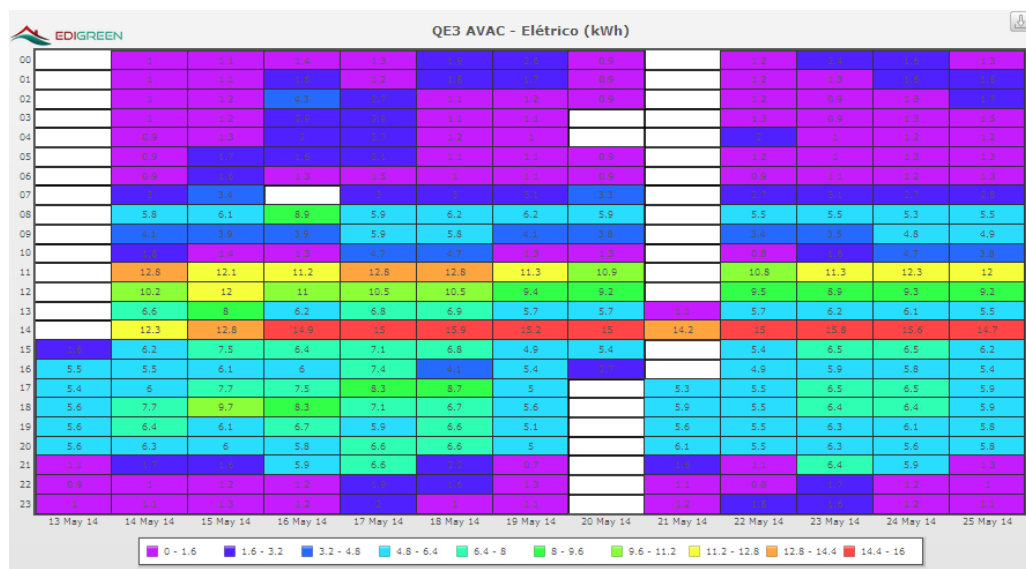


Figura 49 - Evolução dos consumos horários no quadro QE3AVAC de dia para dia entre 13 a 25 de Maio

Da análise da Figura 49 nota-se claramente que os consumos máximos são registados nos horários de funcionamento das UTAs 1 e 2 e também se constata que o quadro está a apresentar consumos fora do horário de utilização dos equipamentos que deverão ser estudados futuramente.

De seguida apresenta-se, na Figura 50, a evolução em termos de número de horas em que o quadro regista uma determinada percentagem da potência nominal estabelecida através de inspeção à instalação (49.12 kW).

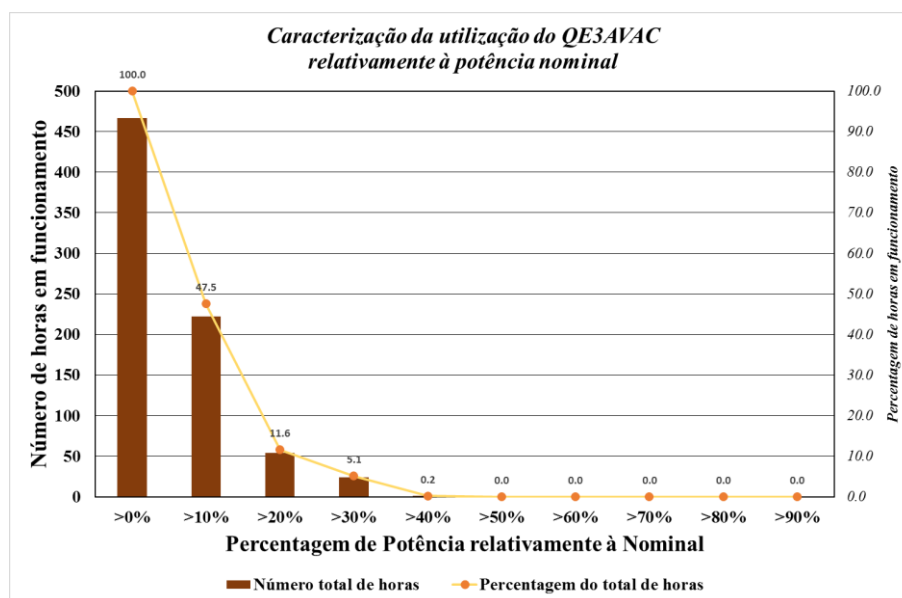


Figura 50 - Caracterização do quadro QE3AVAC quanto à percentagem de utilização do mesmo relativamente à Potência Nominal (49.12 kW)

Considerando o apresentado na Figura 50, pode concluir-se que o sistema não trabalha a mais de 40% do consumo máximo calculado, o que faz notar um sobredimensionamento da potência nominal ou então denota que os equipamentos não estão a ser utilizados.

5.3.1.4 Circuitos Não Prioritários – Iluminação

O quadro de circuitos não prioritários tem alocados todos os abastecimentos elétricos que não dizem respeito aos equipamentos AVAC do *Mall*, nomeadamente iluminação interior e exterior, consumos na administração (splits para o condicionamento de ar, iluminação e equipamentos) e tomadas disponíveis no *mall*. Devido à quantidade de equipamentos ligados a este quadro, o estabelecimento de um perfil teórico de utilização do mesmo seria demasiado laborioso para o tempo disponível para a realização do presente trabalho e como tal não foi viável a sua execução em tempo útil. Apenas se estabeleceram horários gerais de iluminação e utilização das várias valências, o que permitiu concluir que o perfil será diferente nos dias úteis (Segunda a Quinta) já que neste período está aberta a administração durante o dia. Às Sextas em que a administração funciona e o CC encerra ao público mais tarde e aos Sábados em que a administração está fechada e o CC encerra mais tarde. Por último, ao Domingo, em que a administração está encerrada e o CC fecha pelas 22:00.

Na Figura 51, na Figura 52, na Figura 53 e na Figura 54 podem consultar-se os dias escolhidos para cada um dos períodos de consumo com perfis diferentes, devendo notar-se que para exemplo de dia útil foi escolhido as Segundas-feiras.

Pode verificar-se que o perfil de consumos não varia de forma muito brusca nos diferentes dias da amostra, em termos de tipo de perfil e até em valor absoluto de consumo nas horas comparáveis. Este facto dever-se-á ao facto da grande fatia consumidora de energia ser a iluminação (interior e exterior) que se mantém constante ao longo da semana. Em todos os perfis se evidencia um mínimo de consumo entre as 06:00h e as 07:00h e um máximo de consumo pelas 21:00.

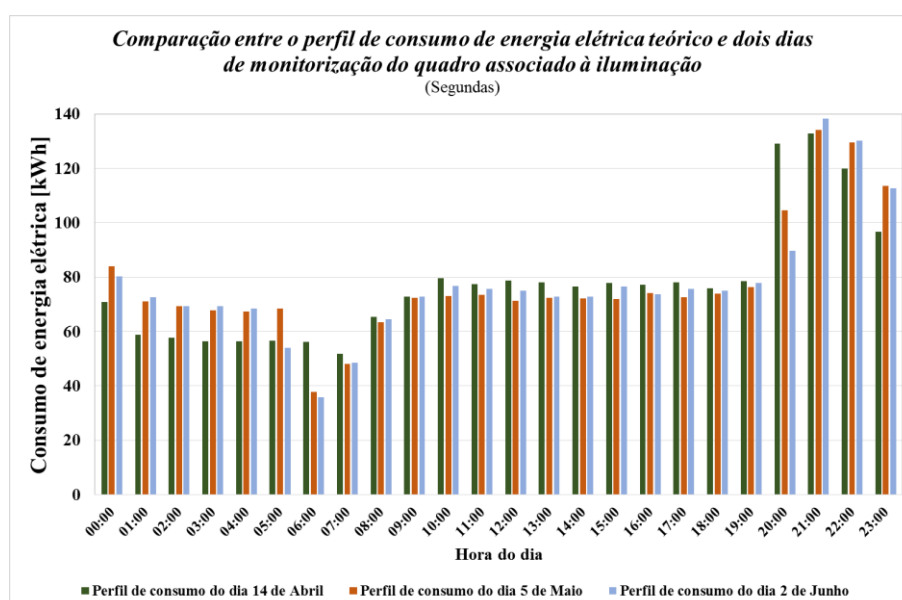


Figura 51 - Comparação do perfil de consumo para três dias de monitorização diferentes do quadro de Circuitos Não Prioritários (Segundas-feiras)

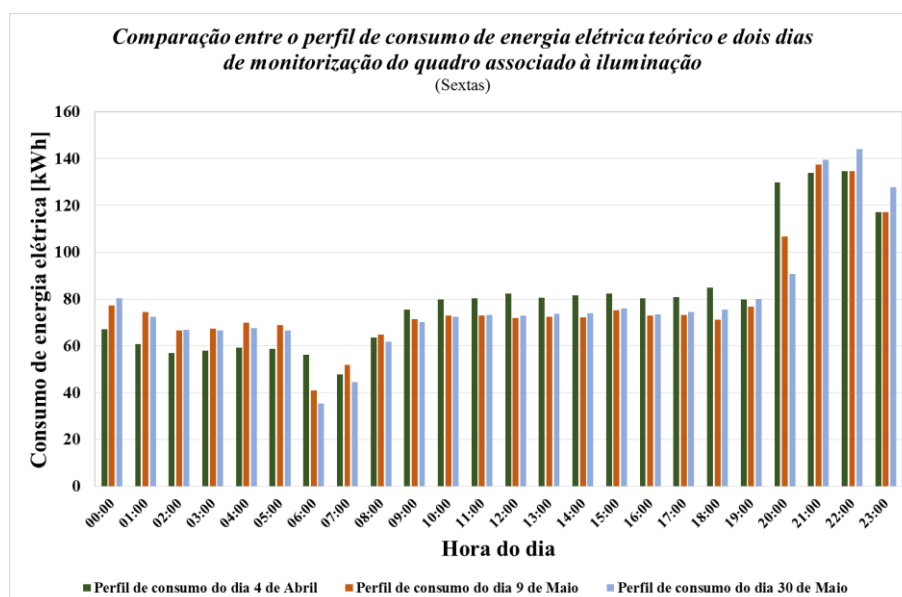


Figura 52 - Comparação do perfil de consumo para três dias de monitorização diferentes do quadro de Circuitos Não Prioritários (Sextas-feiras)

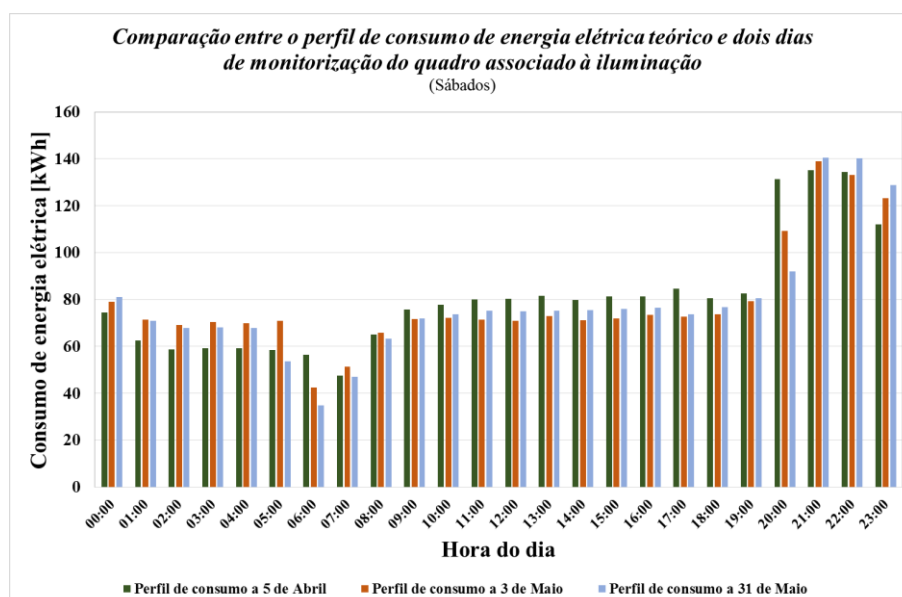


Figura 53 - Comparação do perfil de consumo para três dias de monitorização diferentes do quadro de Circuitos Não Prioritários (Sábados)

O máximo de iluminação deve-se ao facto de o sol se pôr durante o período de funcionamento do CC, o que faz com que seja necessário ligar uma maior potência de iluminação para que a luminosidade se enquadre nos padrões do CC no seu interior e exterior, para deslocação de pessoas e veículos.

O mínimo de iluminação pelas 05:00 deve-se ao desligar de uma percentagem de iluminação exterior. Este horário foi definido na GTC por orientação da administração com base em dados de qual o período da madrugada em que haverá menor probabilidade de ocorrência de incidentes.

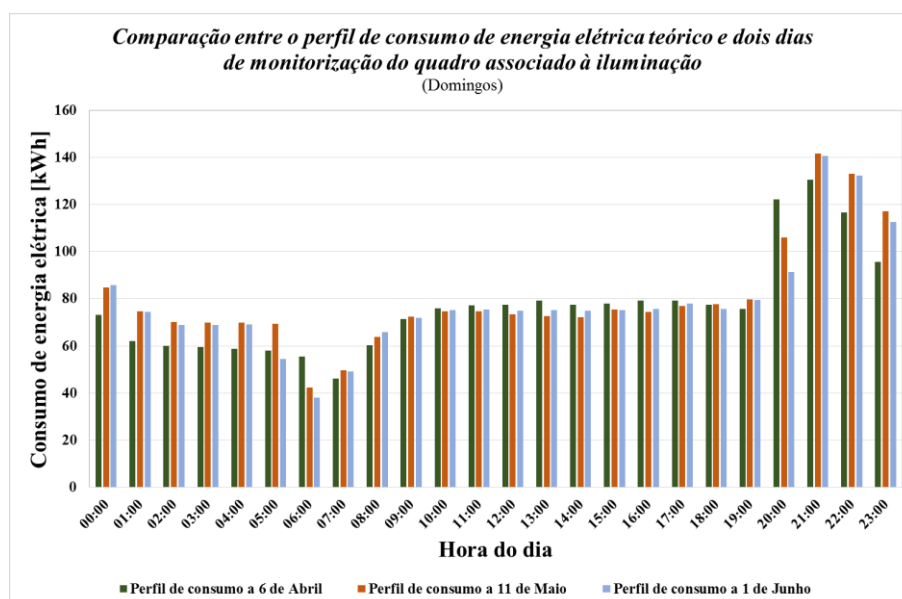


Figura 54 - Comparação do perfil de consumo para três dias de monitorização diferentes do quadro de Circuitos Não Prioritários (Domingos)

A potência ligada durante o período noturno (da 01:00h às 05:00) tem um valor muito próximo da ligada durante o período diurno (das 8:00h às 19:00). Este facto tem explicação na necessidade que as câmaras instaladas terem uma iluminação mínima que permita resolução suficiente à identificação de perigos que ameacem a integridade do espaço exterior e do próprio edifício. Esta necessidade é agravada pelo facto de o CC se encontrar numa zona pouco iluminada, rodeado por um pinhal e afastado de zonas residenciais, o que aumenta o isolamento do mesmo e consequentemente as necessidades aumento de segurança.

Durante o período diurno mantêm-se ligadas as iluminações nas sancas laterais de forma a proporcionar, em conjunto com as entradas de luz natural (claraboias) a intensidade lumínica necessária.

Na Figura 55 pode consultar-se um esquema que permite visualizar através de uma escala de cores a evolução dos consumos registados em termos horários de dia para dia para o quadro Circuitos Não Prioritários. Note-se que os pontos a branco são períodos sem leituras e que as horas apresentadas, para que possam ser comparáveis com as apresentadas nos perfis anteriores devem sofrer um aumento de 1 hora.

Através da análise da Figura 55 pode concluir-se que as conclusões dos dias monitorizadas se mantêm válidas para todo o período de monitorização já que os consumos mantêm-se na mesma faixa no período noturno e diurno, apresentando mínimos pelas 06:00 e 07:00 e máximos no período entre o pôr-do-sol e o encerramento do CC.

Na Figura 56 pode consultar-se a evolução em termos de número de horas em que o quadro apresentou determinado nível de consumo relativamente ao nominal. Esta comparação foi realizada com base na potência nominal instalada levantada através do projeto e pode concluir-se que não há utilização acima dos 60% da nominal. Este dado é condicente com os relatos de progressiva diminuição da utilização de potência instalada por manifesto excesso de lâmpadas existentes.

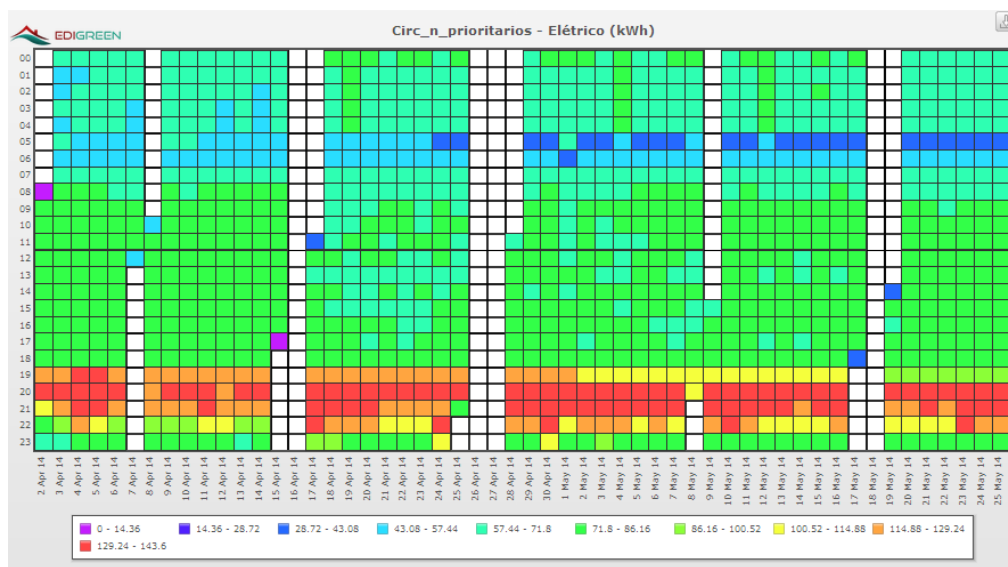


Figura 55 - Evolução dos consumos horários no quadro Circuitos Não Prioritários de dia para dia entre 2 de Abril e 25 de Maio

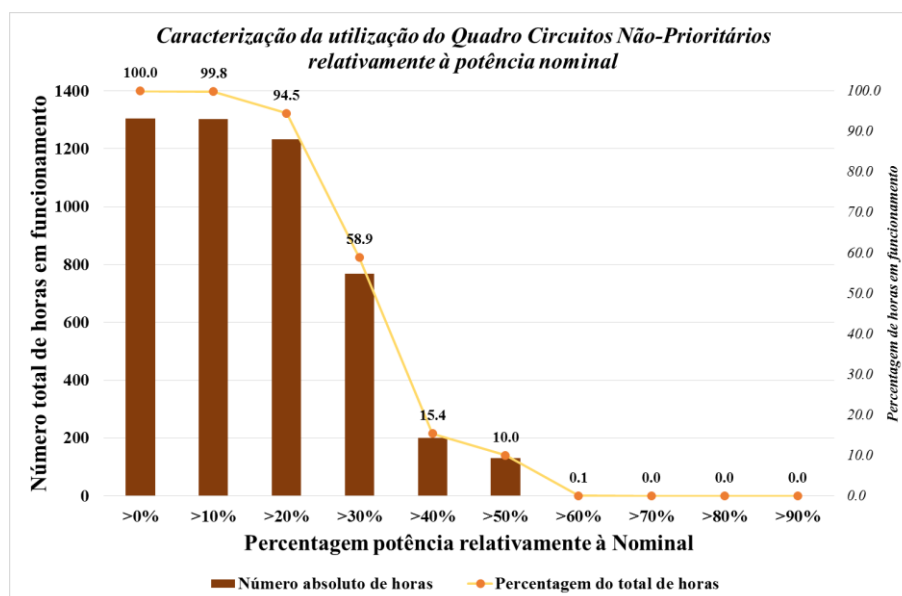


Figura 56 - Caracterização do quadro Circuitos Não Prioritários quanto à percentagem de utilização do mesmo relativamente à potência nominal (240 kW)

5.3.3 Determinação de correlações experimentais descritivas do comportamento de consumo em cada um dos quadros

Depois de realizada uma análise geral ao comportamento esperado em termos diários de cada um dos quadros e depois de explicadas eventuais discrepâncias, segue-se agora a determinação das grandes linhas de tendência em termos de consumos registados no período de monitorização. Será realizado também uma correlação com as variáveis seleccionadas como motoras dos seus consumos.

Para todos os quadros associados ao sistema AVAC (QE1AVAC, QE2AVAC e QE3AVAC), as análises seguirão uma estrutura similar, apresentando-se primeiro dispersões gráficas que mostrem visualmente a tendência de correlação com cada uma das variáveis independentes consideradas (ocupação e temperatura exterior). Posteriormente, através dos

dados recolhidos e recorrendo ao *software* de tratamento estatístico SPSS®, serão calculadas regressões lineares entre as variáveis independentes e a dependente (consumo). Para cada um dos modelos serão explicitadas as hipóteses subjacentes e posteriores conclusões.

No que toca ao quadro Circuitos Não Prioritários, a correlação com as variáveis consideradas (temperatura exterior e ocupação) não faz sentido já que o nível de iluminação não depende de nenhuma delas mas sim da luminosidade diária e hora do pôr-do-sol. Assim, apenas se demonstrará a evolução dos consumos registados em vários períodos considerados para o período de monitorização, retirando-se conclusões sobre a sua constância ou não.

5.3.2.1 QE1AVAC – Distribuição de água fria

Conforme foi referido anteriormente, este quadro possui dois períodos distintos de funcionamento: o período diurno em que funcionam as bombas de distribuição de água fria ao Centro Comercial e às UTAs e o período noturno em que funcionam as bombas do primário que fazem a circulação de água entre os chillers e os bancos de gelo.

Da análise foi subtraído o período noturno, já que os consumos no mesmo dependem apenas do facto de os Chillers ligarem, ou não já que as bombas que funcionam durante este período não possuem variadores de frequência.

Conforme apresentado na análise anterior existem dias de monitorização que não têm dados completos logo será necessário uma forma de normalização dos mesmos. Daí se decidiu fazer o somatório, para cada um dos dias, dos consumos totais registados hora a hora das 10:00h às 22:00h e, posteriormente, dividiu-se esse consumo total pelo número de horas para as quais havia registos em cada um deles. Dessa forma, os consumos assumem um carácter de potência média horária diária. Esta solução absorve quer os problemas de falhas de leituras, quer as variações horárias impostas pela GTC pelo ligar e desligar de equipamentos, possibilitando a sua correlação com as outras variáveis.

Quanto aos dados de temperatura e ocupação, também estes sofreram uma normalização para os tornar correlacionáveis com as potências horárias. Assim, as temperaturas e ocupação foram calculadas pela média para o mesmo período considerado para a média de potências.

Na Figura 57 e na Figura 58 podem observar-se as dispersões da variável dependente “Potência diária” em função das duas variáveis independentes consideradas (“Temperatura exterior” e “ocupação média”).

Analisando a Figura 57 pode concluir-se que, apesar de apresentarem uma tendência crescente de consumo com o aumento da temperatura exterior, a dispersão de dados é grande, apresentando uma diferença de 50 kW entre o ponto de potência máxima e mínima. E sendo o máximo registado para uma temperatura de 19°C, o que é contrário ao inicialmente previsto na medida em que se trata de uma temperatura relativamente baixa. A dispersão apresenta uma maior densidade de dados na faixa dos 70 a 80 kW.

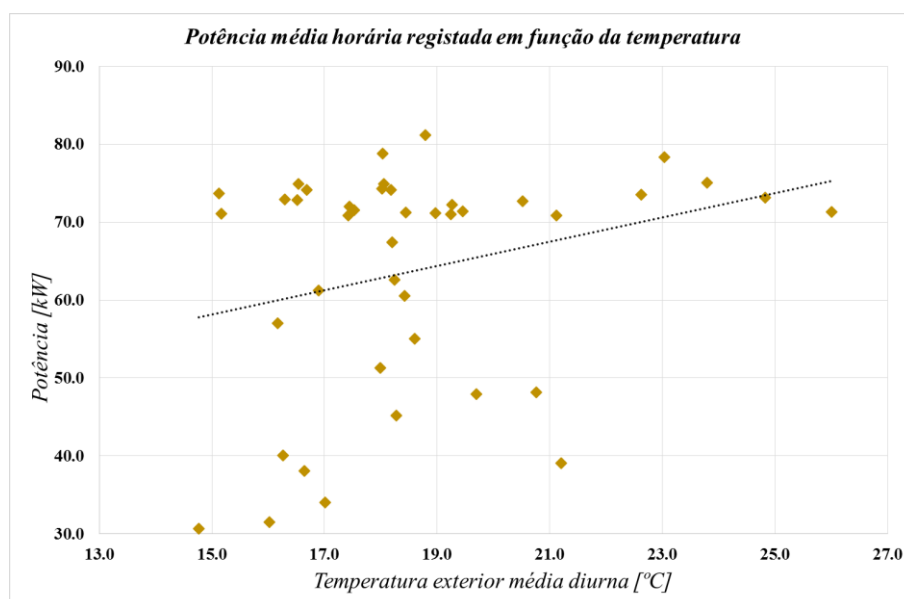


Figura 57 – Potência média horária registada em função da temperatura exterior média diurna para o período de 10 de Abril a 27 de Maio no quadro QE1AVAC

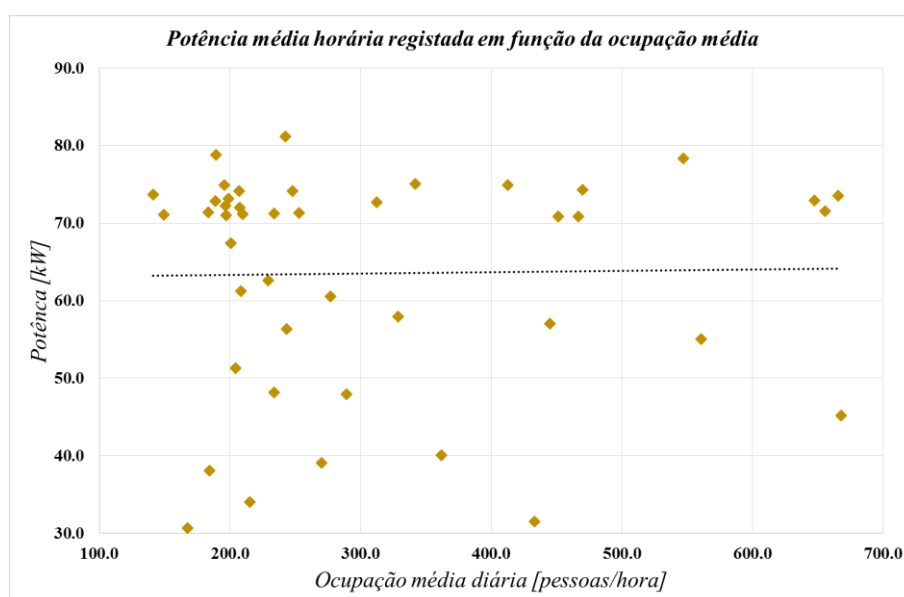


Figura 58 - Potência média horária registada em função da ocupação média diária para o período de 10 de Abril a 27 de Maio no quadro QE1AVAC

Através da análise da Figura 58 não se consegue detetar uma tendência clara de aumento nem diminuição do consumo com a ocupação média.

Para correlacionar as variáveis sob a forma de regressões lineares recorreu-se ao programa de estatística SPSS®.

Foram realizadas duas regressões distintas para cada uma das variáveis independentes consideradas (Temperatura exterior e ocupação média), pois não cumprem os requisitos necessários a integrarem uma mesma regressão linear combinada das duas. Para que tal fosse possível, deveria existir uma relação linear entre as duas variáveis independentes.

Os outputs resultantes das duas regressões podem ser consultados de seguida na Tabela 7 e na Tabela 8:

Tabela 7 – Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE1AVAC e a temperatura exterior diária

R	0.276		
R ²	0.076		
R ² ajustado	0.053		
Erro- padrão da estimativa	14.0923		
Durbin-Watson	0.480		
Significância (ANOVA)	0.076		
Modelo:		Constante	Temperatura exterior
Coeficientes não-padronizados	B	34.735	1.559
	Erro-padrão	16.115	0.857
Coeficientes padronizados	Beta	-	0.276
T		2.155	1.819
Significância		0.037	0.076
95% de intervalo de confiança para B	Limite inferior	2.165	-0.173
	Limite superior	67.305	3.292

Nota-se como primeiro indicador da regressão entre a Temperatura exterior e a Potência média horária diária que o teste Durbin-Watson possui um valor inferior a 1. Este teste avalia a dependência ou independência entre as observações. Quando o seu valor é inferior a 1 significa que os resíduos dos valores previstos pela regressão relativamente às observações têm uma correlação positiva forte. Assim a componente dos resíduos não possui um comportamento apenas aleatório e a regressão não a descreve de forma satisfatória.

A significância resultado do teste ANOVA possui um valor superior a 0.001, o que faz com que não se possa rejeitar a hipótese nula com mais de 99% de certeza. Por esta razão não se pode rejeitar a hipótese de as variáveis serem nulas e assim o modelo não explicar a variação das variáveis.

Para além dos dois testes explicitados, o valor do parâmetro R (coeficiente de correlação) é baixo, de 0.276, o que traduz uma grande distância dos dados experimentais à linha de tendência determinada pelo modelo

Por todos estes testes conclui-se, de uma forma geral, que não há uma correlação estatisticamente válida entre a temperatura exterior e a potência horária registada no quadro QE1AVAC para o período temporal considerado.

Tabela 8 - Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE1AVAC e a ocupação média diária

R	0.19		
R ²	0.000		
R ² ajustado	-0.023		
Erro- padrão da estimativa	14.3784		
Durbin-Watson	0.517		
Significância (ANOVA)	0.903		
Modelo:		Constante	Ocupação
Coeficientes não-padronizados	B	62.933	0.002
	Erro-padrão	4.940	0.014
Coeficientes padronizados	Beta	-	0.019
T		12.740	0.903
Significância		0.000	-0.027
95% de intervalo de confiança para B	Limite inferior	52.964	-0.027
	Limite superior	72.902	0.030

O teste Durbin-Watson possui um valor inferior a 1. Tal como no caso anterior, a componente dos resíduos não possui um comportamento apenas aleatório e a regressão não a descreve de forma satisfatória.

A significância resultado do teste ANOVA possui um valor superior a 0.001, o que significa que não se possa rejeitar a hipótese nula com mais de 99% de certeza, logo não se pode rejeitar a hipótese de as variáveis serem nulas e o modelo não explicar a variação das variáveis.

O parâmetro R (coeficiente de correlação) possui um valor baixo, de 0.19, o que traduz uma grande distância dos dados experimentais à linha de tendência determinada pelo modelo

Portanto conclui-se que, de uma forma geral, não há uma correlação estatisticamente válida entre a ocupação média e a potência horária registada no quadro QE1AVAC para o período temporal considerado.

5.3.2.2 QE2AVAC – Ventilação

O quadro QE2AVAC é responsável por uma parte da ventilação do CC. O seu horário de funcionamento inicia-se pelas 8:00h e termina pelas 22:00h. Desta forma, e dando continuidade ao raciocínio apresentado no quadro anterior, existem dias de monitorização que não têm dados completos logo será necessário uma forma de normalização dos mesmos. Assumiu-se o mesmo método do que no caso anterior

Quanto aos dados de temperatura e ocupação, também estes sofreram uma normalização para os tornar correlacionáveis com as potências horárias. Assim as

temperaturas e ocupação foram calculadas pela média para o mesmo período considerado para a média de potências.

Na Figura 59 e na Figura 60 podem observar-se as dispersões da variável dependente “Potência diária” em função das duas variáveis independentes consideradas (“Temperatura exterior” e “ocupação média”).

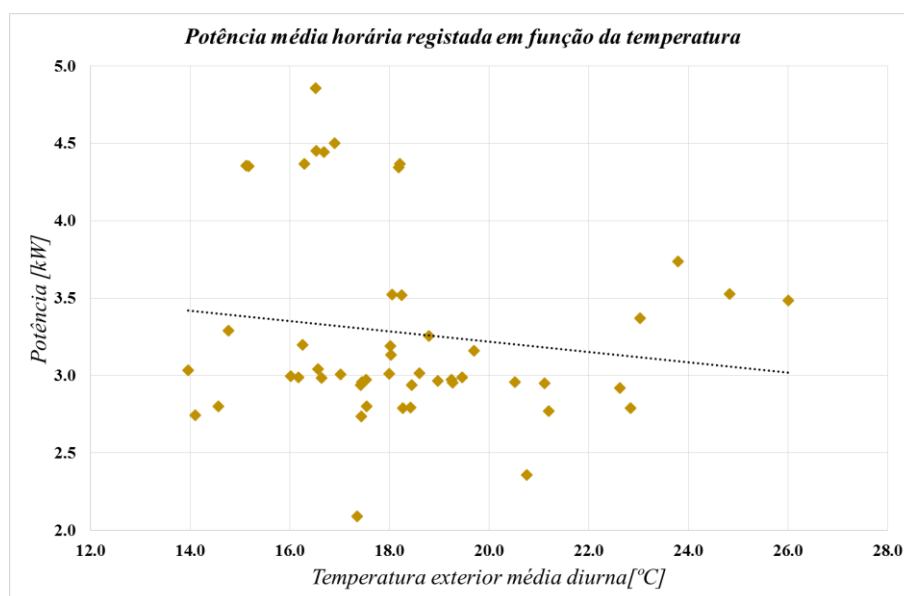


Figura 59 - Potência média horária registada em função da temperatura exterior média diurna para o período de 2 de Abril a 27 de Maio no quadro QE2AVAC

Na Figura 59 pode verificar-se que a tendência na evolução dos consumos com a temperatura é contrária ao que seria previsível, verificando-se uma tendência de diminuição do consumo com o aumento da temperatura exterior.

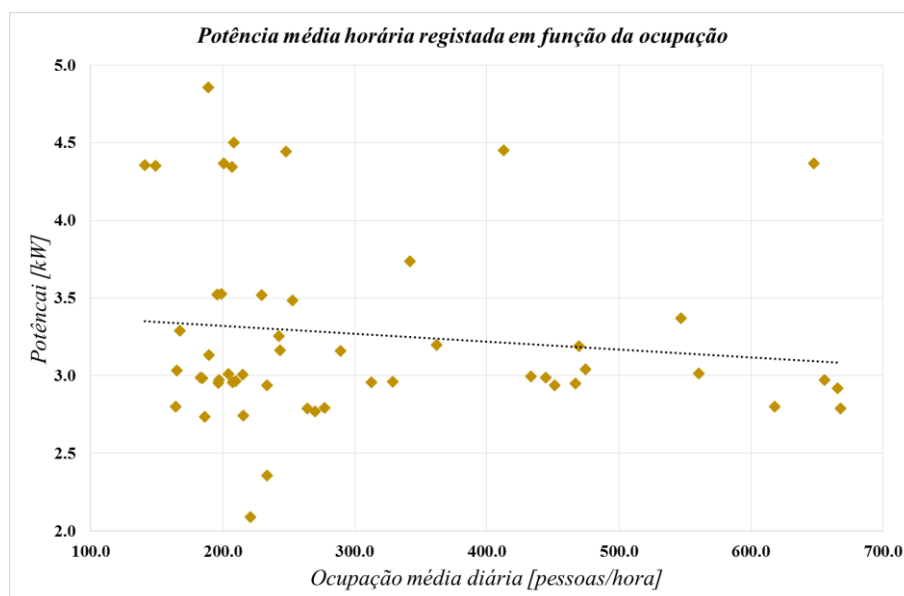


Figura 60 - Potência média horária registada em função da ocupação média diária para o período de 2 de Abril a 27 de Maio no quadro QE2AVAC

Quanto à ocupação verifica-se, analisando a Figura 60, o mesmo que para o caso da temperatura, verificando-se uma diminuição de consumos quando aumenta a ocupação.

Para correlacionar as variáveis sob a forma de regressões lineares recorreu-se ao programa de estatística SPSS®.

Foram realizadas duas regressões distintas para cada uma das variáveis independentes consideradas (Temperatura exterior e ocupação média) já que não existe uma relação linear entre as duas variáveis independentes. Sendo assim, não cumprem os requisitos necessários para integrarem uma mesma regressão linear combinada.

Os outputs resultantes das duas regressões podem ser consultados de seguida na Tabela 9 e na Tabela 10:

Tabela 9 - Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE2AVAC e a temperatura exterior diária

R	0.142		
R ²	0.020		
R ² ajustado	0.000		
Erro- padrão da estimativa	0.6233		
Durbin-Watson	0.296		
Significância (ANOVA)	0.325		
Modelo:		Constante	Temperatura exterior
Coeficientes não-padronizados	B	3.881	-0.033
	Erro-padrão	0.616	0.033
Coeficientes padronizados	Beta	-	-0.142
t		6.296	-0.995
Significância		0.000	0.325
95% de intervalo de confiança para B	Limite inferior	2.641	-0.100
	Limite superior	5.120	0.034

O teste Durbin-Watson possui um valor inferior a 1. Assim a componente dos resíduos não possui um comportamento apenas aleatório e a regressão não a descreve de forma satisfatória.

A significância resultado do teste ANOVA possui um valor superior a 0.001, o que faz com que não se possa rejeitar a hipótese nula com mais de 99% de certeza, logo não se pode rejeitar a hipótese de as variáveis serem nulas e o modelo não explicar a variação das variáveis.

O parâmetro R (coeficiente de correlação) possui um valor baixo, de 0.142, o que traduz uma grande distância dos dados experimentais à linha de tendência determinada pelo modelo

Conclui-se de uma forma geral que não há uma correlação estatisticamente válida entre a temperatura exterior e a potência horária registada no quadro QE2AVAC para o período temporal considerado.

Tabela 10 - Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE2AVAC e a ocupação média diária

R	0.128		
R ²	0.016		
R ² ajustado	-0.003		
Erro- padrão da estimativa	0.6136		
Durbin-Watson	0.278		
Significância (ANOVA)	0.366		
Modelo:		Constante	Ocupação
Coeficientes não-padronizados	B	3.422	-0.001
	Erro-padrão	0.191	0.001
Coeficientes padronizados	Beta	-	-0.128
t		17.886	-0.913
Significância		0.000	0.366
95% de intervalo de confiança para B	Limite inferior	3.038	-0.002
	Limite superior	3.806	0.001

O teste Durbin-Watson possui um valor inferior a 1. Tal como no caso anterior, os resíduos dos valores previstos pela regressão relativamente às observações têm uma correlação positiva forte. Dessa forma, a componente dos resíduos não possui um comportamento apenas aleatório e a regressão não a descreve de forma satisfatória.

A significância resultado do teste ANOVA possui um valor superior a 0.001, logo não se pode rejeitar a hipótese de as variáveis serem nulas e o modelo não explicar a variação das variáveis.

O valor do parâmetro R (coeficiente de correlação) é baixo, de 0.128, o que traduz uma grande distância dos dados experimentais à linha de tendência determinada pelo modelo

Por todos estes testes conclui-se de uma forma geral que não há uma correlação estatisticamente válida entre a temperatura exterior e a potência horária registada no quadro QE2AVAC para o período temporal considerado.

5.3.2.3 QE3AVAC – Ventilação

O quadro QE3AVAC é responsável outra parte da ventilação do CC. O seu horário de funcionamento inicia-se pelas 8:00h e termina pelas 22:00h. Desta forma e dando continuidade ao raciocínio apresentado no quadro anterior, existem dias de monitorização que não têm dados completos logo será necessário uma forma de normalização dos mesmos. Esta será similar aos casos anteriores, em que se calculou o somatório, para cada um dos dias, dos consumos totais registados hora a hora das 08:00h às 22:00h e posteriormente se dividiu esse consumo total pelo número de horas para as quais havia registos em cada um deles.

Quanto aos dados de temperatura e ocupação, também estes sofreram uma normalização para os tornar correlacionáveis com as potências horárias. Assim, as

temperaturas e ocupação foram calculadas pela média para o mesmo período considerado para a média de potências.

Na Figura 61 e na Figura 62 podem observar-se as dispersões da variável dependente “Potência diária” em função das duas variáveis independentes consideradas (“Temperatura exterior” e “ocupação média”).

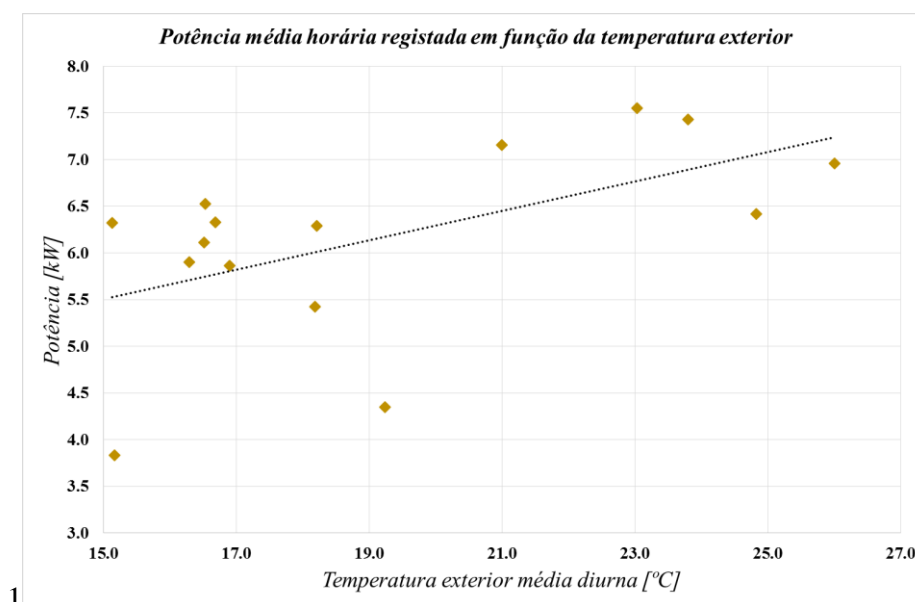


Figura 61 - Potência média horária registada em função da temperatura exterior média diurna para o período de 13 a 27 de Maio no quadro QE3AVAC

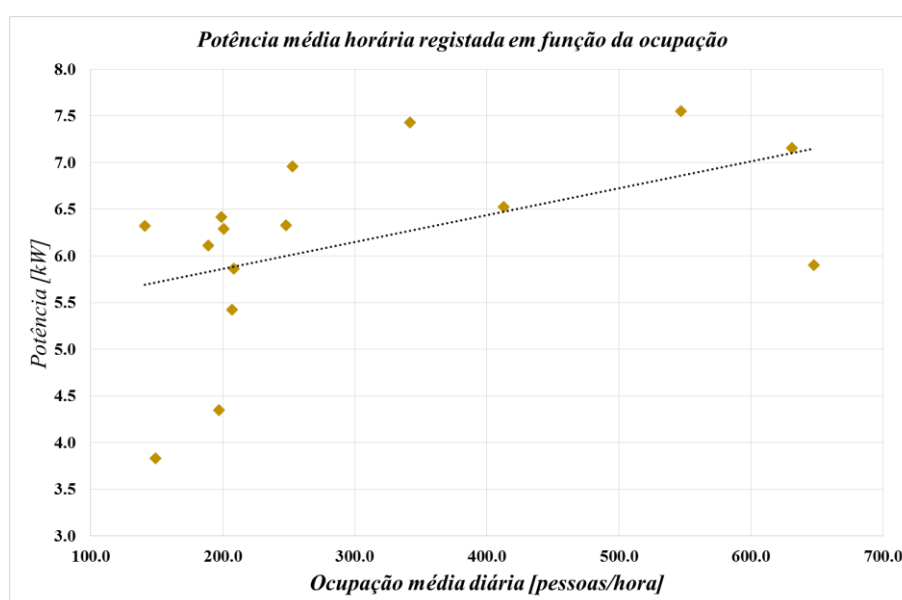


Figura 62 - Potência média horária registada em função da ocupação média diária para o período de 13 a 27 de Maio no quadro QE3AVAC

Da análise da Figura 61 e da Figura 62 vem que as evoluções seguem o esperado, aumentando o consumo quer com a temperatura exterior, quer com a ocupação média.

Ressalva-se ainda que o período é bastante curto no entanto esta situação deveu-se a problemas de carácter experimental.

Para correlacionar as variáveis sob a forma de regressões lineares recorreu-se ao programa de estatística SPSS®.

Foram realizadas duas regressões distintas para cada uma das variáveis independentes consideradas (Temperatura exterior e ocupação média) já que não existe uma relação linear entre as duas variáveis independentes.

Os outputs resultantes das duas regressões podem ser consultados de seguida na Tabela 11 e na Tabela 12:

Tabela 11 - Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE3AVAC e a temperatura exterior diária

R	0.557		
R ²	0.310		
R ² ajustado	0.257		
Erro- padrão da estimativa	0.8886		
Durbin-Watson	1.216		
Significância (ANOVA)	0.031		
Modelo:		Constante	Temperatura exterior
Coeficientes não-padronizados	B	3.147	0.157
	Erro-padrão	1.269	0.065
Coeficientes padronizados	Beta	-	0.557
t		2.481	2.418
Significância		0.028	0.031
95% de intervalo de confiança para B	Limite inferior	0.407	0.017
	Limite superior	5.888	0.298

Nota-se como primeiro indicador da regressão entre a Temperatura exterior e a Potência média horária diária que o teste Durbin-Watson possui um valor superior a 1. Ao contrário dos casos anteriores, como o valor verificado é superior a 1 os resíduos dos valores previstos pela regressão relativamente às observações não tem uma correlação positiva forte, ou seja, são considerados aleatórios.

A significância resultado do teste ANOVA possui um valor superior a 0.001, o que faz com que não se possa rejeitar a hipótese nula com mais de 99% de certeza, logo não se pode rejeitar a hipótese de as variáveis serem nulas e o modelo não explicar a variação das variáveis.

Para além dos dois testes explicitados, o parâmetro R (coeficiente de correlação) possui um valor relativamente aceitável para uma relação empírica, de 0.557, o que traduz uma dispersão relativamente pequena dos dados experimentais à linha de tendência determinada pelo modelo

Conclui-se de uma forma geral que há uma correlação entre a temperatura exterior e a potência horária registada no quadro QE3AVAC para o período temporal considerado.

Tabela 12 - Outputs retirados do programa SPSS® para a regressão entre a Potência média diária do quadro QE3AVAC e a ocupação média diária

R	0.484		
R ²	0.234		
R ² ajustado	0.175		
Erro- padrão da estimativa	0.9363		
Durbin-Watson	1.635		
Significância (ANOVA)	0.068		
Modelo:		Constante	Ocupação
Coeficientes não-padronizados	B	5.284	0.003
	Erro-padrão	0.503	0.001
Coeficientes padronizados	Beta	-	0.484
t		10.502	1.993
Significância		0.000	0.068
95% de intervalo de confiança para B	Limite inferior	4.197	0.000

O teste Durbin-Watson possui um valor superior a 1. Similarmente à relação dos dados com a temperatura exterior, os resíduos dos valores previstos pela regressão relativamente às observações não têm uma correlação positiva forte, daí que possam ser considerados aleatórios.

A significância resultado do teste ANOVA possui um valor superior a 0.001, o que faz com que não se possa rejeitar a hipótese nula com mais de 99% de certeza, logo não se pode rejeitar a hipótese de as variáveis serem nulas e o modelo não explicar a variação das variáveis.

O valor do parâmetro R (coeficiente de correlação) é relativamente aceitável para uma relação empírica, de 0.487, o que traduz uma dispersão relativamente pequena dos dados experimentais à linha de tendência determinada pelo modelo

Conclui-se assim que há uma correlação entre a temperatura exterior e a potência horária registada no quadro QE3AVAC para o período temporal considerado.

5.3.2.4 Circuitos não Prioritários

Conforme foi referido, os consumos registados neste quadro não estão, na sua maioria, relacionados com nenhuma das variáveis consideradas (ocupação e temperatura exterior), já que a sua maioria diz respeito ao consumo associado à iluminação.

Assim ao invés de se correlacionar com os dados das variáveis, optou-se por separar os consumos e calcular a sua média horária (potência média) para quatro períodos distintos

durante o dia: período da madrugada (das 01:00h às 04:00); da manhã (das 05:00h às 08:00h); do dia (das 09:00h às 19:00h) e da noite (das 20:00 às 00:00).

As razões da escolha destes horários estão relacionadas com os vários perfis de iluminação que se vão alterando da seguinte forma:

- Das 01:00h às 04:00h apenas há consumos de iluminação no parque de estacionamento exterior e um resíduo associado a iluminação interior de emergência. Este período termina pelas 05:00 já que a partir desta hora, o perigo de incidências de vandalismo diminui não sendo necessária iluminação por questões de segurança;
- Das 05:00 às 08:00h apenas existe a iluminação interior mínima necessária às atividades de preparação de abertura ao público do CC;
- Das 09:00h às 19:00h existe a iluminação diurna necessária ao funcionamento do CC;
- Das 20:00 às 00:00 está acesa a iluminação interior e exterior necessária ao funcionamento do CC já que neste horário não existe luz solar.

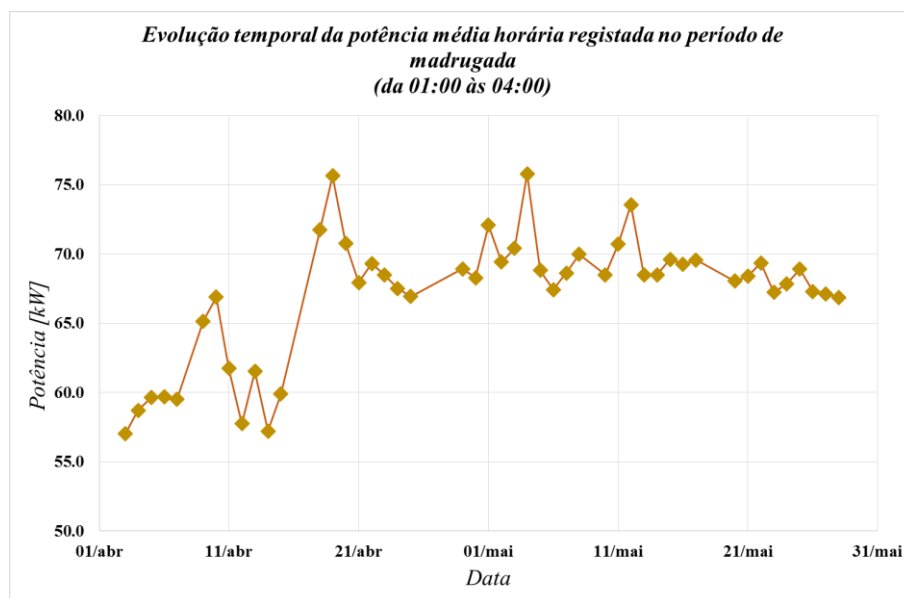


Figura 63 – Evolução temporal da potência média horária registada no período das 01:00 às 04:00 no quadro Circuitos Não Prioritários desde 2 de Abril a 27 de Maio

A evolução apresentada na Figura 63 apresenta picos que poderão estar relacionados com a atividade até mais tarde do Centro Comercial nos dias em que as instalações do Bowling estão abertas e que acabam por influenciar algumas das horas neste período. Denota-se que a partir do dia 11 de Maio há uma tendência de estabilização dos consumos com tendência decrescente.

A potência média neste período é de $67,1 \text{ kW} \pm 2\%$ a 95% de confiança.

Na Figura 64 verifica-se uma grande constância nos consumos com uma tendência decrescente que poderá estar associada ao diminuir da hora do nascer do sol.

A potência média para este período situa-se em $52,6 \text{ kW} \pm 2,1\%$ a 95% de confiança.

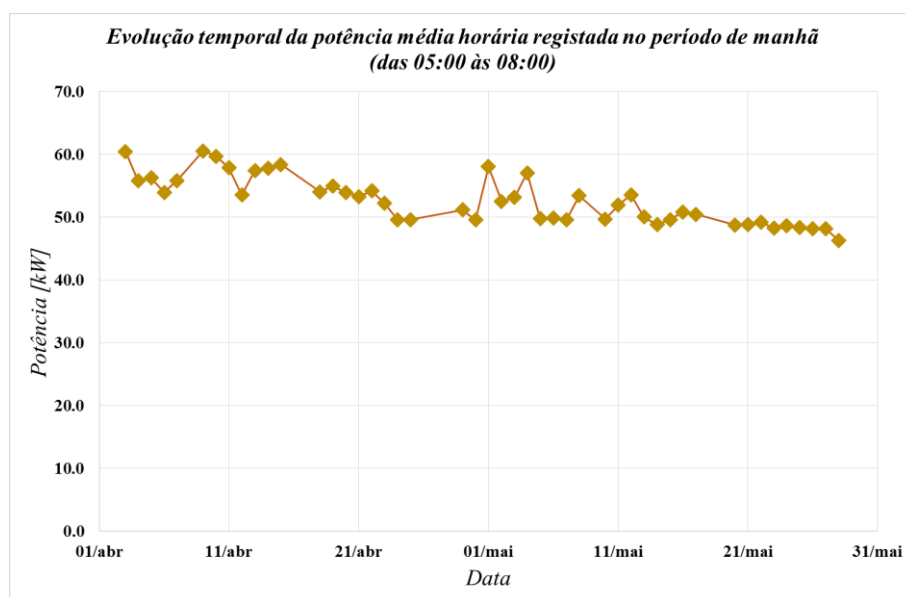


Figura 64 - Evolução temporal da potência média horária registada no período das 06:00 às 08:00 no quadro Circuitos Não Prioritários desde 2 de Abril a 27 de Maio

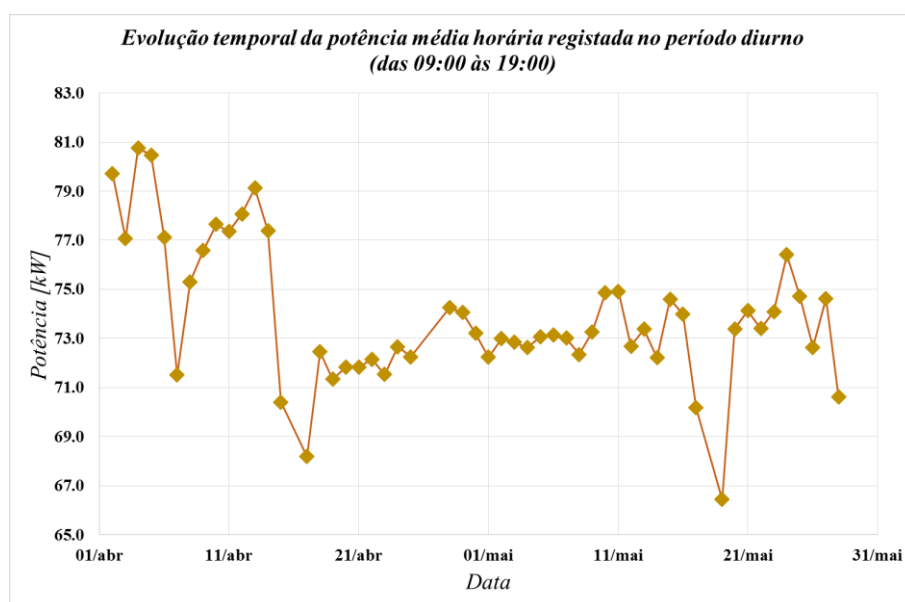


Figura 65 - Evolução temporal da potência média horária registada no período das 09:00 às 19:00 no quadro Circuitos Não Prioritários desde 2 de Abril a 27 de Maio

Na Figura 65 podem observar-se algumas oscilações no que toca aos consumos diurnos que podem estar associadas a variados fatores como redefinição de horários na GTC. A potência média neste período situa-se nos $73.9 \text{ kW} \pm 1.1\%$ a 95% de confiança. Deve ressaltar-se que durante este período a administração está em funcionamento, em dias úteis, o que influencia o consumo.

Através da observação da Figura 66 pode verificar-se que o consumo durante este período tem oscilações variadas que poderão estar associadas aos horários de funcionamento variáveis de cada uma das valências do CC e que encerram a horas diferentes durante a semana. A potência média durante este período é de $114.2 \text{ kW} \pm 1.3\%$ a 95% de confiança.

Medidas de melhoria de consumos energéticos propostas a partir da análise dos dados de monitorização de consumo, respetivo impacto e período de retorno

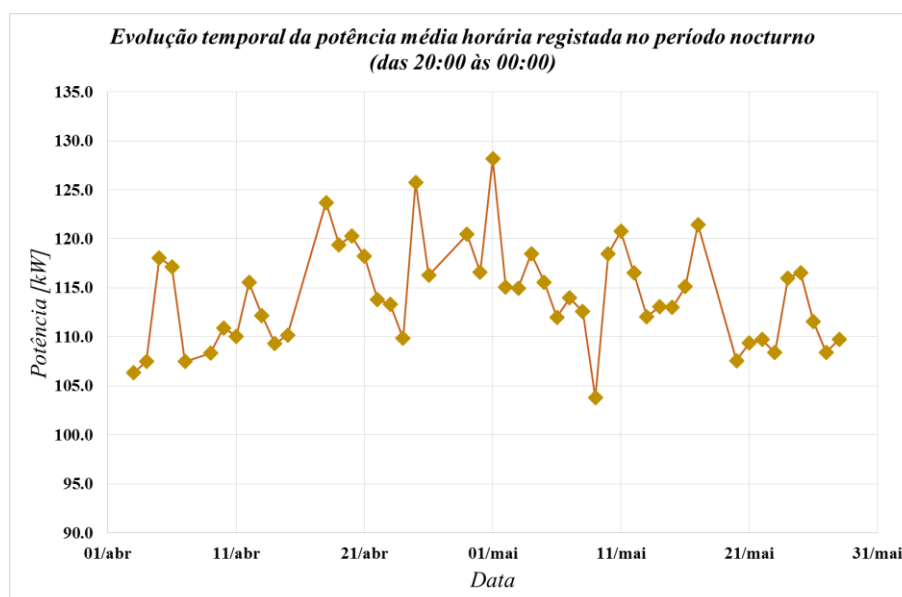


Figura 66 - Evolução temporal da potência média horária registada no período das 20:00 às 00:00 no quadro Circuitos Não Prioritários desde 2 de Abril a 27 de Maio

5.2 Medidas de melhoria de consumos energéticos propostas a partir da análise dos dados de monitorização de consumo, respetivo impacto e período de retorno

Depois de definidos os padrões de consumos e avaliadas as suas correlações com as variáveis independentes consideradas, impõe-se agora a avaliação desses consumos e determinar se há margens para as suas melhorias.

A primeira alteração que se recomenda fazer diz respeito à definição de *set-points* e horários de utilização de equipamentos na GTC. Pelas limitadas correlações com as variáveis consideradas, pode concluir-se que existirão provavelmente pontos em que o consumo está a ser exagerado tendo em conta as necessidades provocadas pela ocupação ou pela temperatura exterior. Por outro lado, poderão também existir outros pontos em que a satisfação das necessidades provocadas por uma alta ocupação ou temperatura não estarão a ser cumpridas.

No que toca à ventilação, a mesma também deverá ser revista já que o período em que as UTAs estão a funcionar é muito curto, executando uma ventilação quase desprezável do espaço. Assim, no Inverno poderão ser desligadas as UTAs 3 e 1, mantendo-se a 2 apenas para efeitos de ventilação do espaço de refeições, necessária para evitar a propagação de cheiros.

Quanto à iluminação, deteta-se que o consumo a ela associada durante o período noturno é atipicamente elevado. Depois de investigadas as razões que levam a este consumo exagerado chega-se à conclusão que se devem à necessidade de iluminação do parque de estacionamento exterior para que as câmaras de vigilância possam filmar com a resolução adequada todas as eventuais ocorrências. Assim, recomenda-se que se contorne esta situação sendo aconselhada a instalação de câmaras de vigilância a infravermelhos que permitam a captação de imagens sem necessidade de iluminação artificial.

O sistema de produção de água gelada em si também exige uma revisão já que os Chillers instalados possuem um EER (*Energy Efficiency Ratio*, Rácio de Eficiência, definido adiante no presente trabalho) relativamente baixo (cerca de 2,12) e que ainda sofre um abaixamento quando utilizado para fazer gelo. Esta diminuição deve-se ao facto de a cada

grau que se diminui na temperatura da água à saída de um Chiller de compressor em parafuso, perde-se cerca de 4% de eficiência [51]. Portanto para fazer gelo, a temperatura de saída da água passa da temperatura usada para o cálculo do EER, 4.5°C [51], para temperaturas negativas da ordem dos -5°C [52], o que implica uma diminuição de 38% no seu EER.

Ao funcionarem em período de super-vazio realmente introduzem uma poupança já que o preço do kWh é inferior em 34,2% às horas de ponta e em 28,2% às horas de cheia. No entanto, comparando este sistema a um sistema sem armazenamento de energia e considerando os EER dos equipamentos disponíveis no mercado (cerca de 3.7 a 4.1) conclui-se que o presente sistema enquanto um todo não é eficiente energeticamente. Assim, apresenta-se na subsecção 5.2.4 um estudo de eventuais benefícios energéticos que adviriam da mudança do sistema para um outro mais eficiente energeticamente.

Em suma, existem quatro potenciais medidas de melhoria dos consumos energéticos que foram possíveis determinar com base na divisão do consumo nas suas correspondentes partes e na monitorização contínua dos mesmos. De seguida, passam-se a explicar estas medidas em detalhe, concretizando em termos de números as potenciais poupanças e período de retorno simples do investimento (nas medidas em que se verifique necessário investimento).

5.2.1 Medida I – automatização de processos

Existem evidências de uma desregulação do sistema quanto à relação que seria expectável verificar-se entre os consumos registados e as variáveis independentes, verificando-se uma dispersão de consumos elevada para níveis similares de cada uma das variáveis independentes (vejam-se a Figura 57, a Figura 58, a Figura 59 e a Figura 60). Assim aconselha-se a revisão dos parâmetros da GTC, nomeadamente no que diz respeito a *set-points* e horários dos equipamentos. Sugere-se que os vários sistemas liguem apenas quando atingem os *set-points* e não segundo horários já que a imposição destes leva a que equipamentos como os ventiladores de exaustão poderão estar a ligar apenas por atingirem o horário e não por serem efetivamente necessário. Por esta razão, existe uma influência negativa nas relações (ou ausência das mesmas) verificadas com as variáveis independentes (ocupação e temperatura exterior).

Assim, através de uma automatização de todos os processos, especificando apenas os horários estritamente necessários, será razoável admitir uma poupança em todos os consumos AVAC diurnos (distribuição de frio e ventilação) de cerca de 4%. Esta poupança corresponderá a aproximadamente 2% dos consumos totais AVAC que se traduzirá numa poupança anual de cerca de 1300€.

Deve notar-se que o valor de 4% de poupanças foi estabelecido tendo por base a referência [53] na qual é realizado um caso de estudo em que se conseguem poupanças entre 2 e 10% do consumo elétrico com ajustes de *set-points* de temperaturas do sistema AVAC.

Para o cálculo deste valor estabeleceu-se como *baseline* de consumo energético associado ao AVAC as percentagens mensais de consumo fornecidas pela administração correspondentes à globalidade do sistema AVAC durante o ano de 2013.

O preço unitário a aplicar a cada mês foi calculado tendo por base a repartição entre as horas de ponta e horas de cheias que variam nos períodos de hora legal de Inverno e de Verão e nos dias da semana (consulte-se a Tabela 14). Assim, foi calculado um preço unitário equivalente através da ponderação do número de horas em que os consumos são tarifados a

cheia, a ponta ou vazio conforme os horários apresentados na Tabela 13 para os vários dias da semana.

Tabela 13 – Horários do ciclo semanal para os fornecimentos em Portugal Continental [54]

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Assim, o preço resultante da aplicação da equação (5.1) pode considerar-se uma média ponderada entre as várias tarifas horárias e que tem diferentes valores para os períodos em que se aplicam as horas legais de Inverno e de Verão.

$$\begin{aligned}
 \text{Preço unitário} = & \quad (5.1) \\
 = & \frac{1 \times \frac{(N_{vzSáb} \times P_{vz} + N_{chSáb} \times P_{ch})}{\sum N_{Sáb}} + 1 \times \frac{N_{vzDom} \times P_{vz}}{N_{Dom}} + 5 \times \frac{(N_{chÚt} \times P_{ch} + N_{ptÚt} \times P_{pt})}{\sum N_{Út}}}{7}
 \end{aligned}$$

Na equação apresentada, N simboliza o número de horas em que se aplica cada um dos tarifários e P simboliza os vários preços unitários aplicáveis aos vários períodos. Os índices referem-se ao tipo de hora e aos dias da semana.

Tabela 14 – Poupanças mensais absolutas e financeiras resultantes da medida I

Mês	Poupança absoluta Mensal [kWh]	Poupança [€]
Janeiro	1381.0	82.31
Fevereiro	1236.4	73.69
Março	1301.0	77.54
Abril	1387.0	83.98
Mai	1382.4	83.70
Junho	2260.0	136.84
Julho	2968.2	179.72
Agosto	2830.0	171.36
Setembro	2274.8	137.74
Outubro	2375.4	143.83
Novembro	1647.8	98.21
Dezembro	1002.4	59.74
Total:		1328.66

5.2.2 Medida II – revisão da ventilação dos espaços

A ventilação do Centro Comercial está a ser realizada por intermédio de três UTAS que fazem a ventilação das 3 partes em que se subdivide o *Mall* (consulte-se a Figura 67 para maior informação sobre como cada uma das UTAs influencia os vários setores do *Mall*). O setor em que se encontra a UTA 2 tem um volume de aproximadamente 40 % do total do *Mall*, o setor em que se encontra a UTA 1 é de aproximadamente 40% do total do *Mall* e o setor em que se encontra a UTA 3 constituirá 20% do total de volume do *Mall*. Estes números são aproximados devido às características irregulares da geometria dos vários corredores e foram obtidos com base nas plantas do edifício.

Os ventiladores das 3 UTAs são iguais e o caudal máximo que insuflam no espaço é de 25992 m³/h. As 3 UTAs estão a trabalhar com o registo completamente aberto, ou seja, com caudal máximo. Na Tabela 15 podem ser consultados os cálculos que conduzem às renovações por hora impostas pelo funcionamento das UTAs.

Verifica-se que a renovação de ar efetivamente realizada pelas UTAs é muito baixa, já que impõe renovações de ar apenas durante o período de funcionamento. No entanto, esta análise é válida apenas para o período de Inverno já que estes horários no Verão são diferentes e ajustados empiricamente ao nível de desconforto dos ocupantes já que neste período se recorre à ventilação como arrefecimento suplementar do CC (além do arrefecimento nas lojas através da circulação de água fria).

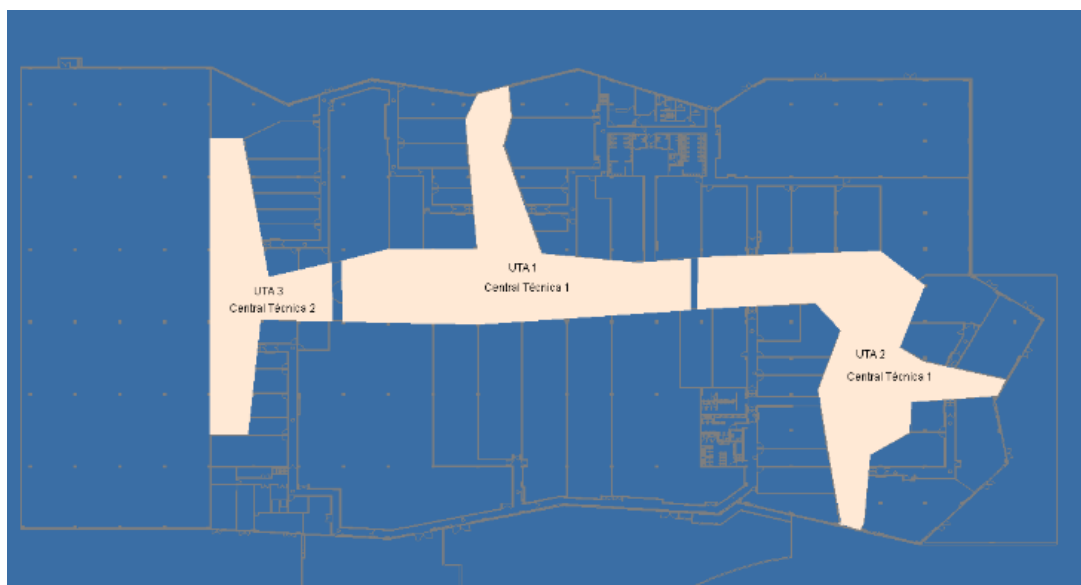


Figura 67 – Zona de influência das UTAs [dados retirados da GTC]

Tabela 15 – Cálculos das renovações de ar impostas pelo funcionamento das UTAs

<i>Designação</i>	<i>Tempo de funcionamento diário</i>	<i>Caudal Insuflado [m³]</i>	<i>Volume total do setor [m³]</i>	<i>Renovações de ar impostas por dia</i>
UTA1	45 min	19 494	8 615	2,3
UTA2	60 min	25 992	8 615	3,0
UTA3	30 min	12 996	4 307	3,0

Conclui-se assim que, durante o Inverno, a utilização das UTAs 1 e 3 será, em princípio, dispensável. Esta conclusão é baseada no facto de as renovações de ar impostas serem curtas relativamente ao volume total de ar do espaço. No entanto é recomendada a instalação de sondas de CO₂ que permitam a ventilação seja ativada em caso de necessidade. A UTA 2 deverá manter-se em funcionamento por fazer a ventilação da zona de refeições em horário de maior ocupação (hora de almoço) e portanto fazer a renovação de ar também para evitar propagação de cheiros no restante CC.

Como forma de cálculo das poupanças financeiras associadas a esta medida utilizou-se o período de monitorização e calculou-se a média da energia que as UTAs consomem no período em que estão ligadas.

Assim, para a UTA1, aos consumos horários médios na sua hora de funcionamento retirou-se a média entre a hora anterior e seguinte. Já que estão ligados outros ventiladores de extração (nomeadamente dos sanitários) que permaneceriam ligados naquela hora mesmo que a UTA fosse desligada. Em seguida multiplicou-se o consumo obtido pelo preço unitário aplicável em cada um dos horários, neste caso das horas de cheia em dias úteis e de vazio ao fim de semana.

Quanto à UTA 3 seguiu-se o mesmo raciocínio, no entanto retirou-se ao consumo na hora em que estava ligada a média da hora seguinte apenas, já que na hora anterior os ventiladores estão todos desligados, no CC.

Como resultado da poupança obtêm-se $73.12\text{€} \pm 7.6\%$ a 95% de confiança anuais para o desligar da UTA 3 durante o Inverno e $123.47\text{€} \pm 9.7\%$ a 95% de confiança anuais para o desligar da UTA 1 no mesmo período. No total, a poupança global perfaz, aproximadamente, 190€/ano. Ressalve-se que mais uma vez, estes dados são baseados por inteiro nos dados de monitorização que se referem a 2 meses e portanto a sua validade poderá ser questionada. Recomenda-se que a monitorização continue durante um período alargado que permita a validação destas poupanças.

5.2.3 Medida III – redução da iluminação exterior no período noturno

Conforme foi referido, existe um consumo claramente excessivo de energia no período noturno associado aos Circuitos Não-Prioritários. Depois de levantamento das razões que justificavam este consumo foi constatado que o motivo se prende com a necessidade de iluminação do parque exterior para efeitos da gravação de imagens de vigilância. As instaladas atualmente não permitem a gravação noturna sem recurso a iluminação artificial.

Assim, para reduzir estes consumos, aconselha-se a substituição das câmaras de vigilância por outras com visão noturna para que se possa diminuir uma grande fatia de consumos energéticos sem que se comprometa a segurança.

Admitindo que, no período noturno, é plenamente justificado o registo de potências horárias até 10kW para efeitos de iluminação de emergência ou iluminação necessária à circulação dos seguranças, há um potencial de redução na ordem dos 57 kW de potência ativa, no período da 01:00h às 05:00h (4 horas) – ver Figura 63, o que se traduz numa poupança absoluta de 83.22 MWh/ano, equivalente a 4019,5€/ano.

Como a circulação de pessoas destinada à preparação de abertura ao público do CC apenas se inicia pelas 07:00, considere-se também que será possível reduzir os consumos registados das 05:00 às 07:00 (2 horas) ao mínimo considerado. Tendo em conta que a média de potência neste período é de 52,6 kW e considerando o mesmo nível mínimo de 10 kW de potência, há aqui um potencial de poupança de 38.4 MWh/ano que se traduzirá em 1 858 €/ano. Portanto há um potencial de poupança na ordem dos 5 877.5€/ano caso se reduzam aqueles consumos.

Note-se que apenas se considera este período por ser o período em que não há circulação associada à atividade do Centro Comercial (apenas a partir da 1:00 é que todas as lojas estão encerradas e a partir das 7:00 começa a existir circulação no CC).

Foi encontrado um modelo de câmara de vigilância que cumpre os requisitos apresentados (Bosch WZ20) e que terá um custo unitário aproximado de 286€. Uma vez que serão necessárias 28 câmaras, o período de amortização simples do investimento será de 1 ano e 5 meses.

5.2.4 Medida IV – substituição do sistema de produção de água gelada

Em secções prévias do trabalho foi referido que a produção de água gelada no CC se realiza por intermédio de dois Chillers associados a bancos de gelo. Este sistema funciona no período noturno, em que os Chillers produzem água gelada que é bombeada num circuito que passa pelos bancos de gelo, produzindo gelo que é armazenado até ao período diurno. Neste período, outro circuito (secundário) é ativado, aproveitando a remoção de calor gerada pela fusão do gelo para arrefecer a água que é bombeada para as lojas a uma temperatura que varia

entre os 4°C e os 6°C (dados retirados da GTC aquando do período diurno de funcionamento do sistema de circulação de água fria). Este sistema apresenta duas grandes vantagens:

- Permite que a eficiência dos Chillers seja maximizada, já que trabalham durante o período noturno, em que as temperaturas médias são as mínimas registadas em todo o dia;
- Permite que o consumo de energia elétrica aconteça no período em que o preço unitário do kWh é mais baixo (chamado de Super-Vazio), já que o frio é produzido e armazenado, podendo ser consumido várias horas mais tarde.

No entanto também apresenta desvantagens. Uma está associada ao sistema em si, pois o facto de a energia ser armazenada leva a que, inevitavelmente, no processo de solidificação, fusão e transporte da água gelada existam perdas que diminuem a eficiência do sistema. Também no funcionamento dos próprios Chillers, se verifica que os ganhos de eficiência por trabalhar de noite poderão ser anulados pelas perdas de eficiência devido à necessidade de produção de água gelada a uma temperatura muito baixa, conforme fundamentado na introdução ao presente capítulo.

Todas estas evidências aliadas ao facto de o EER dos Chillers instalados ser muito baixo (2,11) levam a que a eficiência do sistema instalado seja questionável.

A grande vantagem do sistema instalado é então o facto de consumir eletricidade num período em que o preço unitário da mesma é mais baixo (período de super-vazio, ver Tabela 13). Portanto, a análise à eficiência do sistema será realizada tendo por base uma análise do ganho financeiro associado a este funcionamento.

Numa primeira fase calculou-se um preço unitário equivalente em €/kWh. Este é fruto da diferença de tarifas no período diurno das 10:00 às 21:00 (período de funcionamento da distribuição de água fria), nos vários dias da semana e nos dois períodos de hora legal. O método de cálculo é em tudo análogo ao apresentado na equação (5.1) apresentada na secção 5.3.2. Portanto consiste numa média ponderada do número de horas ao longo do dia em que se praticam os vários tarifários e também tem em conta as variações semanais do tarifário. Pode dizer-se que é uma média ponderada de todos os tarifários aplicáveis no período de funcionamento do arrefecimento das lojas. Na Tabela 16 pode encontrar-se um resumo dos resultados determinados para estes vários preços.

Tabela 16 – Resultados para os preços unitários equivalentes determinados

Período	Preço unitário [€/kWh]
Diurno equivalente (Verão)	0.0593
Diurno equivalente (Inverno)	0.0599
Noturno (Super-Vazio)	0.0482

Conclui-se que o preço unitário equivalente diurno determinado é, no pior cenário, 24,3% superior ao preço unitário noturno (período de super-vazio).

Tendo em conta a definição de EER (*Coefficient of Performance*, ou coeficiente de performance, ver equação (5.2)), e considerando que a carga de arrefecimento é uma constante, conclui-se que caso se pretendesse colocar os chillers a arrefecerem a água em contínuo durante o dia (sem recorrer a armazenamento de energia sob a forma de gelo), o

EER teria que ser aumentado em 24,3% relativamente ao atual de forma a absorver todo o incremento de custos de passagem de funcionamento em horário noturno para diurno.

$$EER = \frac{\dot{Q}_{arrefec.}}{\dot{W}} \quad (5.2)$$

$\dot{Q}_{arrefec.}$ simboliza a potência térmica de arrefecimento em kW e \dot{W} a potência elétrica necessária ao funcionamento da máquina, em kW.

Deve acrescentar-se que há uma limitação inerente a esta análise já que não se consideram as variações do EER devidas à variação da temperatura externa. Tal seria realizado recorrendo ao SEER (*Seasonal Energy Efficiency Ratio*, ou rácio de eficiência energética sazonal) que consiste num rácio que pondera as diferenças em termos de diferenças de eficiência energética de estação para estação. No entanto este rácio deve ser fornecido pelo fabricante ou então determinado através de medições da carga térmica efetivamente produzida pelo equipamento e dos consumos do mesmo. Tal como poderá ser verificado, não foi possível aceder a esses dados durante o período em que se desenvolveu o trabalho, logo será utilizado o EER como valor indicativo da variação de eficiência e consequentes ganhos relativos em termos de consumos de equipamento para equipamento.

Tendo em conta todas as limitações apresentadas, para verificar os potenciais de poupança associados à troca do sistema executou-se uma análise que se baseia em comparações de EER entre Chillers de vários tipos que poderão eventualmente ser implementados.

A metodologia adotada consistiu em condensar todos os dados de consumos horários disponibilizados pela empresa distribuidora de eletricidade durante o ano de 2013, separar o período noturno do diurno e identificar os dias em que os consumos médios registados no período de super-vazio (das 02:00 às 06:00 – horário de funcionamento dos chillers) subtraído da potência média de iluminação noturna já identificada (67 kW) excediam 25% da carga nominal de um dos circuitos dos Chillers ($0.25 \times 306 = 102$ kW). Optou-se por considerar que um Chiller está em funcionamento sempre que se verificam potências horárias superiores a 25% da carga de apenas um dos seus circuitos (portanto 25% de metade da sua potência nominal total, 612 kW) pelo facto de os circuitos serem independentes, conforme previamente descrito.

Na Figura 68 pode encontrar-se uma caracterização dos consumos diários estimados com base no procedimento apresentado. A partir desta figura pode concluir-se que existe uma clara quebra em termos de percentagem de utilização a partir dos 40% da carga nominal. Portanto o sistema instalado está claramente sobredimensionado tendo em conta que o gráfico apresentado traduz os consumos por cada chiller (nos dias em que funcionavam os dois, dividiu-se o consumo registado no consumo horário por dois).

Identificados os dias em que os Chillers estiveram ativos bem como os consumos a eles associados, somaram-se todos os consumos numa base mensal, estimando-se assim o consumo total mensal associado à produção de frio e, consequente, custo mensal total de energia ativa associada a esse consumo.

É importante referir que em todas as análises de impacto financeiro é excluído o IVA e apenas são contabilizadas as reduções de energia ativa.

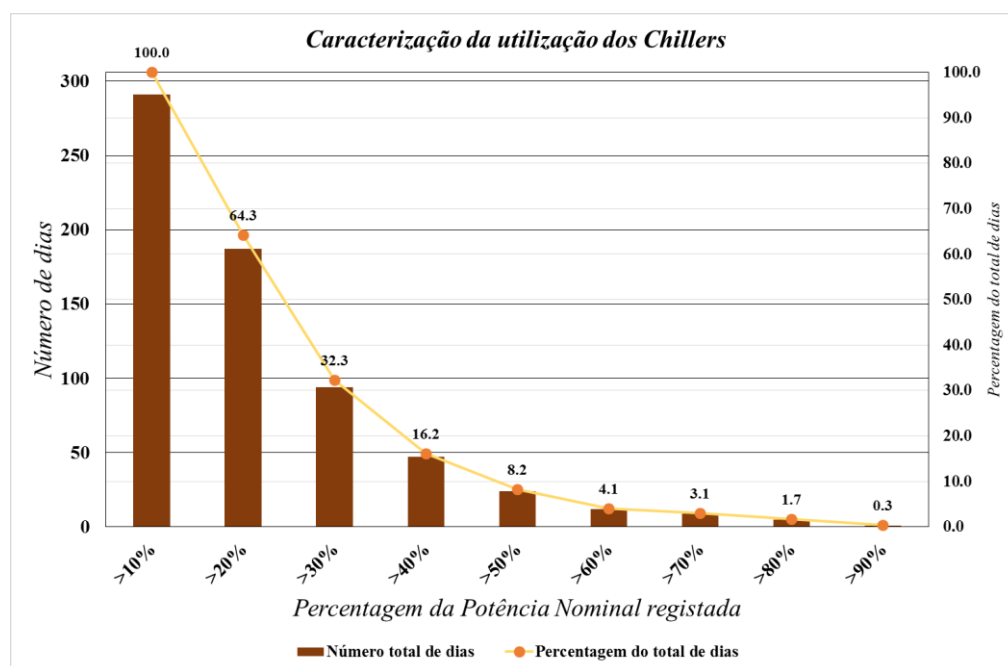


Figura 68 – Caracterização da utilização dos Chillers ao longo do ano de 2013 baseada em leituras de consumos horários de energia ativa fornecidos pela EDP

Portanto, o EER dos Chillers que implicaria o mesmo custo energético com a mudança do sistema seria 24,3% superior ao dos Chillers atualmente instalados (ou seja, um EER de 2,62).

Tendo em conta que a tecnologia associada à produção de frio tem avançado no sentido de obter EER cada vez melhores e um Chiller com compressor de parafuso arrefecido a ar possui atualmente EERs na ordem dos 3.7 – 4.1 [51], torna-se interessante analisar qual seria a tendência de redução de custos em função do aumento do EER instalado.

Caso fosse plausível fazer a substituição do equipamento de produção de frio, será razoável analisar qual seria a redução de custos caso o sistema instalado fosse ainda mais eficiente. Tal será questionado através da ponderação de instalação de um sistema que inclua Chillers arrefecidos a água que são mais eficientes do ponto de vista energético, apresentando EERs que variam entre 4.6 e 5.3 [51]. Como resultado desta análise, observe-se a Figura 69 em que se representa graficamente a evolução dos consumos e dos custos elétricos com o aumento do EER.

Deve ter-se em conta na análise que a evolução entre o primeiro e segundos pontos da linha dos custos não é real. O primeiro ponto representa o ponto atual de consumo e custo elétrico e o segundo representa a passagem a funcionamento em regime diurno com um EER superior em 24,3%. Este ponto foi identificado anteriormente como o ponto crítico a partir do qual os custos seriam diminuídos com o aumento do EER devido à diferença de preços unitários do kWh diurnos e noturnos. Assim, esta evolução em linha reta representa a faixa de EER em que não compensa, do ponto de vista financeiro, fazer a passagem de sistema de produção e armazenamento de frio para produção em contínuo de frio.

O terceiro ponto das duas evoluções representa o EER médio de um chiller com compressor de parafuso e o quarto ponto o EER médio de um chiller com compressor de parafuso arrefecido a água.

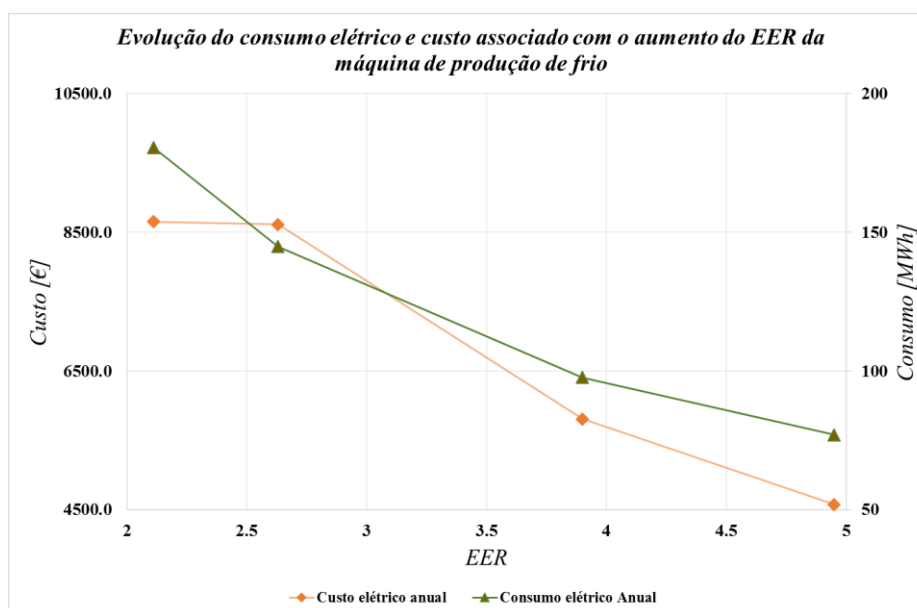


Figura 69 – Evolução do consumo elétrico e consequente custo anual com a evolução do EER da máquina adotada para produção de frio

Conclui-se assim que a substituição dos Chillers por equipamentos do mesmo tipo com um EER atual traduz-se numa diminuição potencial de 30% dos custos elétricos e uma substituição por Chillers do mesmo tipo arrefecidos a água implicaria uma diminuição de 50% dos custos energéticos. Denote-se que esta redução diz respeito apenas à redução nos consumos associados à produção de frio.

Tendo em conta a análise de *Energy breakdown* realizada na primeira secção deste capítulo, uma redução de 46% nos consumos energéticos associados à produção de frio implicam uma redução de 12.8%, ou seja, cerca de 25 140 €/ano no consumo total energético. Esta seria a poupança atingida caso se substituissem as máquinas de produção de frio por outros do mesmo tipo com um EER de 3.9 e se alterasse o sistema para funcionamento em contínuo durante o dia.

Quanto à substituição por Chillers arrefecidos a água, o impacto nos consumos finais não será direto já que será necessária uma análise à alteração do sistema num todo. Essa alteração implica, além da instalação dos novos Chillers, a instalação de torres de arrefecimento para o arrefecimento da água quente rejeitada pelos Chillers.

As torres de arrefecimento podem ser de contacto direto ou indireto, recomendando-se para esta aplicação as de contacto indireto por terem um menor consumo de água [55].

O funcionamento destas torres tem um custo associado que se considerará equivalente a uma redução de 10% no EER efetivo das máquinas de produção de frio. Este valor foi determinado com base no discernimento científico a título indicativo e deverá ser alvo de confirmação em estudos subsequentes. Conclui-se que recorrendo a esta alteração se conseguem poupanças em termos de consumos energéticos de 53% relativamente ao consumido atualmente, o que traduz uma poupança de 14.8% no total da fatura energética, ou seja, cerca de 28 887 €/ano.

A análise apresentada foi realizada apenas para valores indicativos, sendo que, de uma forma geral, os ganhos serão tanto maiores quanto maior for o EER de uma potencial máquina a substituir as atuais. Como se pode verificar nos dados apresentados na Figura 68, a potência

instalada é exagerada para as necessidades que realmente existem em termos de arrefecimento. Este facto aliado aos ganhos potenciais identificados associados à mudança de sistema levam à conclusão que o sistema deve ser reavaliado e, potencialmente, redimensionado, o que culminará na substituição dos atuais equipamentos.

5.3 Cálculo dos Indicadores de Performance Energética do edifício recorrendo aos resultados experimentais

Considerando a repartição energética determinada a partir da Figura 36, realizar-se-á nesta secção uma projecção daquilo que são os vários indicadores de performance energética (EPIs) do edifício por cada consumidor energético. Assim, calculou-se o consumo total acumulado anual do CC, dividiu-se, recorrendo aos pesos determinados pelo *Energy Breakdown*, e pela área, neste caso os 5 821 m² de área efetiva do *Mall*. Com base nas plantas do edifício estimou-se que os corredores técnicos, administração e salas técnicas representassem cerca de 800 m², portanto a área climatizada será de aproximadamente 5 000 m². Este valor é estimado devido às irregularidades de geometria que impossibilitam um cálculo exato do mesmo.

Os resultados obtidos são:

- Consumo total anual por unidade de área = 271 kWh/m²
- Consumo anual associado a iluminação, administração e sala de controlo por unidade de área = 119 kWh/m²
- Consumo anual associado ao sistema AVAC num todo por unidade de área climatizada = 152 kWh/m²
- Consumo anual associado à produção de água gelada por unidade de área climatizada = 73 kWh/m²
- Consumo anual associado à distribuição de água fria por unidade de área climatizada = 68 kWh/m²
- Consumo anual associado à ventilação do edifício por unidade de área climatizada = 11 kWh/m²

Deve ter-se em atenção que estes resultados são obtidos tendo por base a repartição de consumos determinada com base no período de monitorização que medeia entre 2 de Abril e 28 de Maio.

Os coeficientes determinados por si poderão traduzir uma informação limitada, fazendo sentido para uma avaliação da performance do edifício em questão uma comparação com os índices de performance dos outros edifícios da mesma tipologia.

Com este objetivo levantaram-se os dados relativos ao consumo elétrico por unidade de área comum disponíveis em [40] e trataram-se, obtendo-se o gráfico apresentado na Figura 70 e que traduz, no eixo das abcissas, o percentil relativamente a toda a realidade portuguesa associada àquela tipologia de edifícios em que um dado nível de consumo (eixo das ordenadas) coloca o CC em análise.

Tendo em conta que a performance determinada é de 271 kWh/m², o Centro Comercial em análise encontra-se no percentil 65, ou seja, encontra-se nos 65% melhores Centros Comerciais. Esta classificação coloca o CC em análise na pior metade relativamente aos consumos elétricos comparativamente aos edifícios concorrentes logo conclui-se que há uma margem para melhoramento significativo da performance.

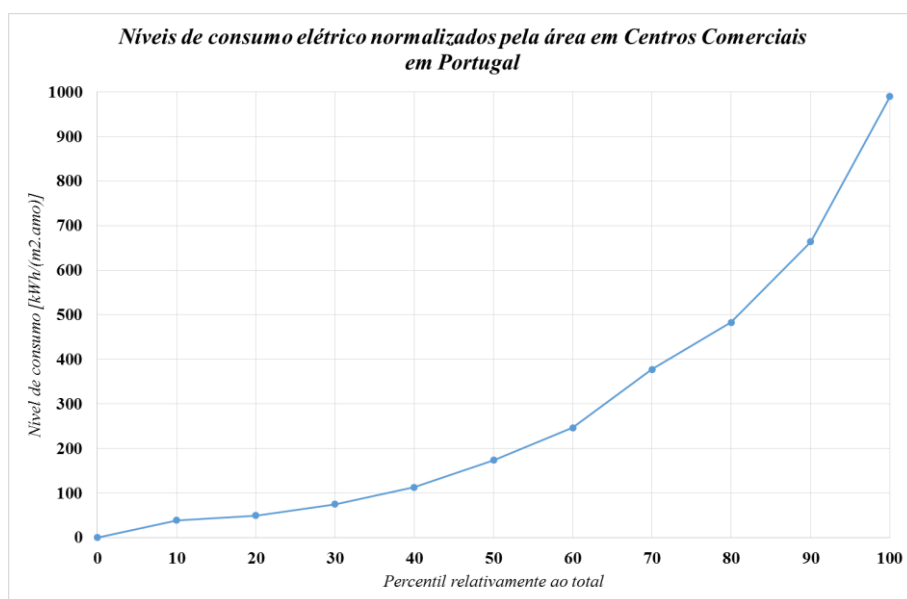


Figura 70 – Apresentação dos resultados para a distribuição dos consumos normalizados pela área comum em Centros Comerciais portugueses levantado a partir dos dados disponíveis em [40] para o ano de 2011

A técnica utilizada para o *benchmarking* realizado foi portanto a normalização simples de consumos elétricos pela área comum dos CCs por falta de informação relativa ao consumo energético total em termos de energia primária (contabilizando não apenas o elétrico mas também de outras formas de energia como gás natural) de todos os CCs em Portugal.

6 Conclusões e trabalhos futuros

Conclui-se que a monitorização contínua dos consumos energéticos é a melhor forma de monitorização dos consumos no tipo de edifícios que são os Centros Comerciais. Através desta é possível analisar separadamente os comportamentos dos diferentes consumidores de eletricidade do edifício, o que se torna crucial para uma razoável gestão energética do edifício devido à complexidade das instalações que se traduz na existência de diversos consumidores com comportamentos mais ou menos independente uns dos outros.

Foi possível chegar a esta conclusão seguindo uma metodologia de trabalho que consistiu em fazer um estudo da realidade do sector comercial, concluindo-se que os grandes consumidores energéticos nestes edifícios são o sistema AVAC, a iluminação e os equipamentos. De seguida identificaram-se os sistemas AVAC tipicamente instalados em Centros Comerciais, bem como possíveis medidas de melhoramento da performance energética associadas a estes sistemas.

Considerando o caso prático que serviu como caso de estudo da hipótese apresentada, iniciou-se pela análise dos dados obtidos através da monitorização, comparando-os com aquilo que vinham sendo os consumos registados pela administração com vista à sua validação. A partir daí procedeu-se à análise crítica dos consumos, estabelecendo-se perfis e fatores que os influenciam e que culminaram na proposta de um conjunto de medidas cuja descrição sumária e respetivo impacto de poupança financeira podem ser consultadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Resumo das medidas de poupança energética encontradas e respetivo impacto financeiro anual esperado.

<i>Medida sugerida</i>	Poupança anual esperada
<i>Automatização de processos de gestão de equipamentos e revisão de set-points</i>	1320 €/ano
<i>Revisão da ventilação dos espaços</i>	190 €/ano
<i>Redução da iluminação exterior no período noturno</i>	5 877 €/ano
<i>Substituição do sistema de produção de frio – substituição dos chillers por outros de EER mais elevado</i>	25 140 €/ano
<i>Substituição do sistema de produção de frio – substituição dos chillers para água-água</i>	28 887 €/ano

Conclui-se ainda ser possível a deteção de avarias em aparelhos recorrendo à análise dos consumos horários em cada um dos quadros desde que estes estejam devidamente separados segundo os diferentes utilizadores e ainda se pode dizer que a prioridade de atuação quanto à busca de medidas de poupança energética se deve centrar no sistema AVAC já que é ele o maior consumidor de energia elétrica.

Determinaram-se os EPIs associados ao consumo elétrico global e por sectores do caso de estudo. Estabeleceram-se ainda os *benchmarks* para o consumo energético em Centros Comerciais em Portugal, concluindo-se que a instalação em análise se coloca nos 65% melhores, o que indica que há uma margem significativa para diminuição dos consumos comparativamente aos edifícios concorrentes.

Como resultado da inspeção realizada à instalação em análise, existem ainda algumas recomendações associadas ao funcionamento da instalação que deverão ser tidas em conta e que se passam a explicar:

1. Foram detetadas discrepâncias entre horários definidos na GTC para os vários sistemas dependentes. Aconselha-se a revisão sistemática dos horários estabelecidos na GTC.
2. Existem bombas que não possuem variadores de frequência. Recomenda-se a instalação de variadores nestas bombas já que permitem poupanças significativas através do ajuste da potência de bombagem às necessidades de carga efetivas.
3. Recomenda-se que sejam instalados sensores de CO₂ que ativem a ventilação por parte das UTAS apenas quando se verifique uma necessidade real da mesma. Como foi verificado, a renovação de ar imposta pelas UTAs não é relevante dado o volume do *Mall* e provavelmente em muitos dos dias será desnecessária tendo em conta a ocupação.
4. Recomenda-se a instalação de sensores de luminosidade que permitam o ajuste automático da iluminação artificial às condições de iluminação natural verificadas.
5. Recomenda-se que o período de monitorização seja estendido pelo período mínimo de um ano de forma a validar as conclusões apresentadas bem como, durante o mesmo período, realizar-se uma análise detalhada à performance dos Chillers instalados.
6. Finalmente, recomenda-se um estudo de viabilidade financeira à mudança de sistema de produção de frio para um sistema de Chiller arrefecido a água associado a torre de arrefecimento húmida. Os dados encontrados sugerem que as poupanças potenciais sejam relevantes, no entanto deverão ser estudadas em maior detalhe.

O presente trabalho constituiu um desafio com diversas limitações devido ao seu carácter eminentemente experimental. O facto de estar sob análise uma instalação já existente levou a que fosse necessário adotar estratégias de análise e interpretação que nem sempre se revelaram úteis. Exigiu, portanto, uma constante redefinição de metodologias de abordagem aos diversos problemas encontrados no terreno. Este facto aliado ao curto período de tempo associado ao desenvolvimento de uma dissertação de mestrado levou a que o período de monitorização considerado fosse curto e portanto, introduza limitações à análise apresentada. Por este facto surgem várias sugestões de trabalhos a continuar ou a realizar tomando o presente como ponto de partida. Algumas sugestões de trabalhos futuros são as seguintes:

- Estudo exploratório incidente sobre as variáveis independentes que realmente se poderão correlacionar com os consumos energéticos em Centros Comerciais
- Realização de um inquérito de âmbito nacional com vista ao estabelecimento de *benchmarks* de consumo de energia primária normalizados pela área e pela zona climática associados ao setor dos centros comerciais.

7 Referências e Bibliografia

1. Chamartín Imobiliária. 2014 [cited 2014 19/05]; Available from: <http://www.chamartinimobiliaria.com/>.
2. Chamartín Imobiliária, D.V.S., *Relatorio de Sustentabilidade Chamartín 2010*. 2010, Chamartín Imobiliária.
3. Kadoshin, S., T. Nishiyama, and T. Ito, *The trend in current and near future energy consumption from a statistical perspective*. Applied Energy, 2000. **67**(4): p. 407-417.
4. Pérez-Lombard, L., J. Ortiz, and C. Pout, *A review on buildings energy consumption information*. Energy and Buildings, 2008. **40**(3): p. 394-398.
5. Foucquier, A., et al., *State of the art in building modelling and energy performances prediction: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **23**(0): p. 272-288.
6. Kabak, M., et al., *A fuzzy multi-criteria decision making approach to assess building energy performance*. Energy and Buildings, 2014. **72**(0): p. 382-389.
7. Brunsgaard, C., et al., *Integrated energy design – Education and training in cross-disciplinary teams implementing energy performance of buildings directive (EPBD)*. Building and Environment, 2014. **72**(0): p. 1-14.
8. Patterson, M.G., *What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues*. Energy Policy, 1996. **24**(5): p. 377-390.
9. Dakwale, V.A., R.V. Ralegaonkar, and S. Mandavgane, *Improving environmental performance of building through increased energy efficiency: A review*. Sustainable Cities and Society, 2011. **1**(4): p. 211-218.
10. Chen, G.Q., et al., *Low-carbon building assessment and multi-scale input-output analysis*. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2011. **16**(1): p. 583-595.
11. Thormark, C., *The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building*. Building and Environment, 2006. **41**(8): p. 1019-1026.
12. Pérez-Lombard, L., et al., *A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes*. Energy and Buildings, 2009. **41**(3): p. 272-278.
13. Escrivá-Escrivá, G., C. Álvarez-Bel, and E. Peñalvo-López, *New indices to assess building energy efficiency at the use stage*. Energy and Buildings, 2011. **43**(2-3): p. 476-484.
14. Olesen, B.W. and M. de Carli, *Calculation of the yearly energy performance of heating systems based on the European Building Energy Directive and related CEN standards*. Energy and Buildings, 2011. **43**(5): p. 1040-1050.
15. Mejri, O., E. Palomo Del Barrio, and N. Ghrab-Morcos, *Energy performance assessment of occupied buildings using model identification techniques*. Energy and Buildings, 2011. **43**(2-3): p. 285-299.
16. Ghiaus, C., *Experimental estimation of building energy performance by robust regression*. Energy and Buildings, 2006. **38**(6): p. 582-587.
17. Tan, G. and L.R. Glicksman, *Application of integrating multi-zone model with CFD simulation to natural ventilation prediction*. Energy and Buildings, 2005. **37**(10): p. 1049-1057.
18. Inard, C., H. Bouia, and P. Dalicieux, *Prediction of air temperature distribution in buildings with a zonal model*. Energy and Buildings, 1996. **24**(2): p. 125-132.

19. Zhai, Z., M.-H. Johnson, and M. Krarti, *Assessment of natural and hybrid ventilation models in whole-building energy simulations*. Energy and Buildings, 2011. **43**(9): p. 2251-2261.
20. U. S. Department of Energy, *EnergyPlus Energy Simulation Software*. 2013.
21. Aranda, A., et al., *Multiple regression models to predict the annual energy consumption in the Spanish banking sector*. Energy and Buildings, 2012. **49**(0): p. 380-387.
22. Ozturk, H.K., et al., *Electricity estimation using genetic algorithm approach: a case study of Turkey*. Energy, 2005. **30**(7): p. 1003-1012.
23. Escrivá-Escrivá, G., et al., *New artificial neural network prediction method for electrical consumption forecasting based on building end-uses*. Energy and Buildings, 2011. **43**(11): p. 3112-3119.
24. Kavaklioglu, K., *Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Support Vector Regression*. Applied Energy, 2011. **88**(1): p. 368-375.
25. Florides, G.A., et al., *Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness*. Applied Energy, 2002. **73**(3-4): p. 299-328.
26. Wagner, A., et al., *Performance analysis of commercial buildings—Results and experiences from the German demonstration program 'Energy Optimized Building (EnOB)'*. Energy and Buildings, 2014. **68**, Part B(0): p. 634-638.
27. Parlamento Europeu e do Conselho, *Directiva 2002/91/EC do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios*, U. Europeia, Editor. 2002.
28. ADENE, *EPBD (recast) e as implicações para Portugal*, in *Net Zero-Energy Buildings Conference*. 2012: Lisboa.
29. Parlamento Europeu e do Conselho, *Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios*, U. Europeia, Editor. 2010.
30. Kurnitski, J.e.a., *How to define nearly net zero energy buildings nZEB – REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast*. REHVA Journal, 2011.
31. REHVA. *REHVA - Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations*. 2014 [cited 2014; Available from: <http://www.rehva.eu/>].
32. Lee, W.L., *A comprehensive review of metrics of building environmental assessment schemes*. Energy and Buildings, 2013. **62**(0): p. 403-413.
33. Chung, W., Y.V. Hui, and Y.M. Lam, *Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings*. Applied Energy, 2006. **83**(1): p. 1-14.
34. Chung, W., *Review of building energy-use performance benchmarking methodologies*. Applied Energy, 2011. **88**(5): p. 1470-1479.
35. Wang, S., C. Yan, and F. Xiao, *Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings*. Energy and Buildings, 2012. **55**(0): p. 873-888.
36. Escrivá-Escrivá, G., O. Santamaria-Orts, and F. Mugarra-Llopis, *Continuous assessment of energy efficiency in commercial buildings using energy rating factors*. Energy and Buildings, 2012. **49**(0): p. 78-84.
37. Batista, A.P., M.E.A. Freitas, and F.G. Jota, *Evaluation and improvement of the energy performance of a building's equipment and subsystems through continuous monitoring*. Energy and Buildings, 2014. **75**(0): p. 368-381.
38. Ministério do Comércio e Turismo - Secretaria de Estado do Comércio Interno, *Portaria n.º 424/85 de 5 de Julho*. 1985, Diário da República.

39. Passos, C.M.P., *A indústria dos centros comerciais: análise da situação actual e proposta de cenários para o futuro*, in *Economia, Gestão e Engenharia Industrial* 2006, Universidade de Aveiro.
40. Associação Portuguesa de Centros Comerciais, *Centros Comerciais - Anuário Portugal 2011*, ed. P. Inteira. 2011, Parede.
41. CUSHMAN & WAKEFIELD, *Marketbeat Shopping Center Development Report - Europe*. 2014, CUSHMAN & WAKEFIELD: London.
42. Borges, A., *Estudo e Optimização Energética dos Novos Centros Comerciais à luz da Nova Regulamentação*, in *Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia*. 2007, Universidade do Porto: Porto.
43. Stein, B.e.a., *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*. Tenth Edition ed. 2006, New Jersey.
44. U.S. Energy Information Administration. *Use of Energy in the United States Explained*. 2013 [cited 2014 30/04]; Available from: <http://www.eia.gov/energyexplained>.
45. Market observatory for energy, *Key Figures*. 2011, Directorate- General for Energy, European Commission.
46. IEA - International Energy Agency, *Portugal: Balances for 2011*. 2014, OCDE/IEA.
47. Kahn, M.E., Kok, Nils, Quigley, John M., , *Commercial Building Electricity Consumption: The Role of Structure Quality, Management, and Contract Incentives* National Bureau of Economic Research, 2013.
48. Thumann, A.M., Paul D., *Handbook of Energy Engineering (6th Edition)*. Fairmont Press, Inc.
49. Escrivá-Escrivá, G., *Basic actions to improve energy efficiency in commercial buildings in operation*. Energy and Buildings, 2011. **43**(11): p. 3106-3111.
50. Architecture, W.S.o. *AuditAC*. [cited 2014; Available from: <http://www.cardiff.ac.uk/archi/research/auditac/index.html>.
51. Krarti, M., *Energy Audit of Building Systems*. Mechanical Engineering Series, ed. C. Press. 2000, Florida: CRC Press.
52. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *Chapter 50 - Thermal Storage*, in *HVAC Systems and Equipment (SI Edition)*, I. ASHRAE, Editor. 2008, ASHRAE, Inc: Atlanta.
53. The Hong Kong Electronic Industries Association (HKEIA), *Guidebook for ISO 50001 - Energy Management System*, HKEIA, Editor. 2013, HKEIA: Hong Kong.
54. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. *Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental* 2014 [cited 2014 30/05]; Available from: <http://www.erse.pt/>.
55. Facão, J.M., *Comportamento Térmico de Torres de Arrefecimento Indirectas para Aplicação a Sistemas de Arrefecimento Ambiente*, in *Engenharia Mecânica*. 1999, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto.
56. Yuldelson, J., *The Green Building Revolution*, ed. I. Press. 2008, Washington DC.
57. U. S. Green Building Council. *LEED*. 2014 [cited 2014; Available from: <http://www.usgbc.org/leed>.
58. US Green Building Council, *Green Building Design and Construction*, ed. U.G.B. Council. 2009, Washington, DC.
59. BRE Global. *BREEAM*. 2014 [cited 2014; Available from: <http://www.breeam.org/>.
60. Larsson, N.M., Manuel, *Overview of the SBTool assessment framework*. 2012: iiSBE.

61. Knight I, A.J.e.a., *HARMONAC: Energy Consumption in European Air Conditioning Systems and the Air Conditioning System Inspection Process - Final Report*. 2010, Intelligent Energy – Europe (IEE) SAVE Project.

ANEXO A: Sistemas de Certificação energética – LEED, BREEAM e SBMethod

a) LEED – *Leadership in Energy & Building Design*

O sistema de classificação LEED surgiu nos Estados Unidos da América, levado a cabo pelo *Green Building Council* como forma de catalogar edifícios quanto à sua performance ambiental. Inicialmente apenas dizia respeito a edifícios novos ou sujeitos a grandes renovações. Posteriormente, com algumas modificações, foi possível utilizá-lo em outras situações como edifícios residenciais até 3 andares [56].

O LEED é um sistema de classificação por pontos que permite a comparação entre vários edifícios. É fundamentado nas boas práticas de uma grande variedade de disciplinas como a arquitetura, engenharia, *design* de interiores, arquitetura paisagista ou construção. Estas práticas traduzem-se pela implementação de *standards* de performances que são necessários atingir ou ainda por *standards* prescritivos (estes últimos consistem em requisitos objetivos, como por exemplo o facto de as tintas usadas não poderem ter mais do que uma dada concentração de elementos tóxicos) [56].

A etiquetagem que sai deste sistema é uma “*eco-label*” que traduz os atributos ambientais de um dado projeto e que dá mais importância aos resultados práticos conseguidos com a aplicação de determinadas medidas de melhoria das várias performances do que à implementação das medidas em si [56].

Os níveis de classificação deste sistema são [32]:

- Básico (Certificado) (de 40 a 49 pontos);
- Prata (de 50 a 59 pontos);
- Ouro (de 60 a 79 pontos);
- Platina (acima de 80 pontos).

Segundo [57], os objetivos gerais da aplicação do sistema LEED podem traduzir-se nos seguintes pontos:

- Poupar recursos financeiros;
- Consumir menos energia;
- Reduzir o consumo de água;
- Aumentar a Qualidade de Ar Interior;
- Fazer melhores escolhas em termos de materiais de construção;
- Promover a inovação.

Com o objetivo de cumprir os propósitos apresentados, o sistema LEED subdivide-se em vários sistemas de avaliação individual que dizem respeito a várias tipologias de edifícios [58]:

- LEED para edifícios existentes;
- LEED Core and Shell (adequado para projetos em que não é conhecida a real ocupação do mesmo);
- LEED para novas construções;
- LEED para escolas;
- LEED para o desenvolvimento de pequenas comunidades;
- LEED para *retail*;
- LEED para edifícios de serviços de saúde;

- LEED para habitação;
- LEED para interiores comerciais.

O processo de avaliação LEED tenta abarcar o máximo de boas práticas possíveis, não deixando de ter em conta o balanceamento das mesmas com as práticas correntes, bem como conceitos emergentes [58]. Para avaliar a performance ambiental de um dado edifício, este sistema abarca sete grandes categorias [32]:

- Local sustentável (máximo de 26 pontos);
- Eficiência no consumo de água (máximo de 10 pontos);
- Energia e atmosfera (máximo de 35 pontos);
- Materiais e recursos (máximo de 14 pontos);
- Qualidade de ar interior (máximo de 15 pontos);
- Inovação no *design* (máximo de 6 pontos);
- Prioridade Regional (máximo de 4 pontos).

O sistema tem, conforme implícito aquando da descrição das categorias, uma escala de 0 a 100 pontos. No entanto, a soma das sete categorias perfaz 110 pontos. Isso deve-se ao facto de as duas últimas categorias serem categorias de pontos de “bónus”[32].

A atribuição de pontos a cada categoria, como se pode comprovar, não é equitativa, o que implica que umas categorias tenham maior impacto no resultado do que outras. Esta diferença de pesos atribuídos a cada uma é baseada numa análise dos potenciais impactos ambientais e benefícios humanos que advêm de cada uma delas. Por impactos entende-se um efeito humano ou ambiental derivado do *design*, construção, operação ou manutenção do edifício como por exemplo: emissões de gases com efeito de estufa; utilização de combustíveis de origem fóssil; utilização de materiais em que existam toxinas ou produtos cancerígenos; poluentes existentes na água ou ainda condições de qualidade de ar interior [58].

Assim, a cada impacto associa-se uma análise que engloba fatores como a modelação energética, uma análise do ciclo de vida, análise de transporte e, por fim, cada um deles é quantificado de forma relativa aos outros. Assim é possível atribuir um peso a cada impacto em cada um dos critérios considerados nas categorias e como objetivo último, atribuir pesos a cada categoria [58].

Conforme se poderá depreender, os pesos variam também consoante o sistema de classificação individual em que nos encontramos, já que dependendo do tipo de edifícios, há critérios que devem ser considerados ou rejeitados. [58]

b) BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*

Este sistema de classificação energética de edifícios foi estabelecido pela primeira vez em 1993 no Reino Unido como forma de avaliar o desempenho ambiental de edifícios. Em 1998, foi realizada uma revisão ao processo e assim passaram a ser abrangidos edifícios das várias tipologias como: escolas, centros comerciais, edifícios de escritórios ou edifícios industriais [32].

Este processo avalia a performance ambiental dos edifícios através da definição de *standards* para as melhores práticas em design de edifícios sustentáveis, construção e gestão

dos próprios edifícios. Encoraja os clientes e *designers* a terem preocupações como as emissões de gases de efeito de estufa e a minimização da procura energética [59]. Posteriormente à criação destes standards, as performances dos vários edifícios são comparadas a eles segundo vários critérios. Deste método surgiu a avaliação do impacto do edifício sob a forma de uma das seguintes classificações [32]:

- Aprovado (classificação superior a 30%);
- Bom (classificação superior a 45%);
- Muito bom (classificação superior a 55%);
- Excelente (classificação superior a 70%);
- Excecional (classificação superior a 85%).

Para a atribuição desta classificação avaliam-se vários critérios que têm, à semelhança do sistema LEED, um peso relativo. Estes critérios subdividem-se em três níveis: no primeiro existem 10 assuntos, no segundo 69 categorias que se englobam em cada um dos assuntos e por fim, no terceiro nível, existem 114 critérios agrupados nas várias categorias [32].

Os dez principais assuntos apresentam-se de seguida acompanhados do peso em termos de créditos a eles associado [32]:

- Gestão (22 créditos);
- Saúde e Bem-Estar (14 créditos);
- Energia (30 créditos);
- Transporte (9 créditos);
- Água (9 créditos);
- Materiais (12 créditos);
- Desperdícios (7 créditos);
- Utilização do terreno e Ecologia (12 créditos);
- Poluição (13 créditos);
- Inovação (10 créditos).

Assim, serão verificados os diferentes critérios incluídos em cada um destes assuntos, sendo atribuída uma classificação sob a forma de rácio de créditos atribuída com os níveis supracitados. Em cada assunto há um mínimo de créditos necessários obter e ainda uma classificação mínima de créditos em cada uma das categoria que varia consoante o nível de classificação geral a atribuir [32].

As classificações podem ser atribuídas em fase de projeto dos edifícios. Caso assim seja, devem ser verificadas posteriormente na fase de utilização do edifício [32].

Tal como acontece no sistema LEED, o BREEAM também se subdivide em várias categorias individuais para melhor adaptar o processo aos vários tipos de edifícios existentes. Assim as várias categorias existentes deste processo serão [59]:

- *BREEAM Communities* (destina-se ao planeamento das várias fases do desenvolvimento de comunidades);
- *BREEAM New Constructions* (destina-se ao projeto e construção de novos edifícios não-domésticos);
- *BREEAM Code for Sustainable Homes* (destina-se ao projeto e construção de edifícios residenciais);
- *BREEAM in-use* (destina-se a edifícios em utilização);
- *BREEAM Refurbishment* (destina-se a grandes renovações em edifícios).

Este é ainda um sistema que tem sido aplicado em vários países (mais de 50), nomeadamente em países Europeus como a Holanda, Espanha, Noruega, Suécia, Alemanha, Áustria, Suíça e Luxemburgo [59].

c) SB Method

O SB Method, desenvolvido pela iiSBE (*International Initiative for a sustainable Built Environment*) consiste num quadro genérico para classificar a performance sustentável de edifícios e projetos. Consiste no fundo num conjunto de ferramentas (a que daqui por diante se chamará SBTool) que auxiliam organizações locais a desenvolver sistemas de classificação energética em cada país ou região [60].

É um sistema versátil e adaptável, já que permite a consideração de critérios variáveis conforme o objetivo da análise. Assim, pode realizar-se uma análise profunda tendo em conta mais de 100 critérios ambientais ou, por outro lado, uma análise rápida e menos profunda com seis critérios de performance. Em qualquer caso, este sistema considera de forma decisiva as características e especificidades de cada local em que o edifício se localizará, bem como os fatores de contexto do próprio edifício que influenciam o tipo de critérios que serão considerados e a sua importância relativa no contexto da análise [60].

Existiram já diversas versões do sistema sendo que a mais recente é o SBTool 2012. Neste sistema, o processo de classificação baseia-se em comparações entre as características do objeto em análise e as referências nacionais e regionais para estabelecer assim uma escala em que se define o que se entende por mínimos de aceitação, boas práticas ou ainda excelentes práticas. Este sistema permite ainda a comparação internacional entre os vários edifícios de diferentes regiões desde que no somatório de créditos, que constitui a classificação final, seja multiplicado o peso específico de cada crédito pela pontuação obtida no mesmo. Caso sejam adotadas outras escalas, elas devem ser normalizadas antes de serem comparadas [60].

Quanto à estrutura específica da aplicação do SBTool, esta subdivide-se em duas fases: a primeira consiste na avaliação do local onde o edifício estará implantado (usualmente é realizada numa fase de pré-projecto) e a segunda é a avaliação do próprio edifício (realiza-se em fase de projeto, construção e posteriormente em fase de utilização). Cada uma destas fases resulta em dois tipos de ficheiros resultantes: ficheiro A e ficheiros B (B1, B2,...). Os ficheiros do tipo A estabelecem o que serão os pesos dos critérios e os *benchmarks* para cada um deles no que toca a uma dada região. Já os ficheiros do tipo B dizem respeito à informação específica de cada um dos edifícios a implantar ou implantados naquele local [60].

Existem ainda diversas perspetivas em que o sistema pode ser acedido e utilizado. Na perspetiva do programador, todos os critérios, incluindo aqueles que ainda estão em desenvolvimento, estão disponíveis e é possível manipulá-los fazendo alterações. Na perspetiva “máxima”, estão disponíveis todos os critérios completamente desenvolvidos e permite fazer uma análise rica e profunda daquilo que é o desempenho do edifício. Na perspetiva “de médio tamanho” estão disponíveis os critérios mais relevantes, é uma versão que cobre a maioria dos assuntos sem exagerar no nível do detalhe. Por último existe ainda uma perspetiva “mínima” em que é usado um mínimo número de critérios que cobrem apenas os assuntos-chave. É uma perspetiva redutora, mas permite uma análise rápida e mais barata para aferir a performance ambiental do edifício [60].

À semelhança dos outros sistemas de classificação abordados, também este poderá ser aplicado em diferentes contextos que serão [60]:

- Pré-Projecto – inclui a seleção do local a contruir e das suas características;
- Projeto – inclui a avaliação das performances potenciais do edifício em desenvolvimento;
- Construção – abarca o processo de construção propriamente dito;
- Utilização – apenas pode ser aplicado depois de o edifício estar em utilização há, pelo menos, dois anos. Apesar de muitos dados serem derivados da fase de projeto, os consumos considerados são os efetivamente verificados no local.

Consoante a fase em que o sistema é aplicado, existirão diferenças no que toca à aplicação de critérios, na Tabela 18 pode verificar-se essa variação.

Tabela 18 – Número de critérios por área e por perspetiva em cada uma das fases [60]

Área de análise	Perspetiva	Pré-Projecto	Projeto	Construção	Operação
Localização, Serviços disponíveis, Caraterísticas locais	Máxima	35	-	-	-
	Média	20	-	-	-
	Mínima	8	-	-	-
Regeneração e desenvolvimento local; Planeamento Urbano e Infraestruturas	Máxima	-	22	0	21
	Média	-	12	0	11
	Mínima	-	2	0	2
Consumo energético e de recursos	Máxima	-	10	6	10
	Média	-	8	4	7
	Mínima	-	4	2	3
Cargas Ambientais	Máxima	-	19	7	18
	Média	-	6	1	6
	Mínima	-	2	0	2
Qualidade de Ar Interior	Máxima	-	18	0	19
	Média	-	10	0	10
	Mínima	-	2	0	2
Qualidade de Serviços	Máxima	-	20	9	25
	Média	-	10	4	13
	Mínima	-	2	1	2
Aspetos sociais, culturais e de perceção	Máxima	-	10	2	10
	Média	-	5	1	5
	Mínima	-	1	0	1
Aspetos económico-	Máxima	-	4	1	4

financeiros	Média	-	3	1	3
	Mínima	-	1	0	1
Total de Critérios	Máxima	35	103	25	107
	Média	20	54	11	55
	Mínima	8	14	3	13

Os *benchmarks* e restante informação de referência para a comparação com o edifício em análise devem ser fornecidos por entidades independentes do projeto a avaliar. O sistema possui valores pré-definidos mas que não têm significado numa dada região, pois devem ser calibrados. No entanto, depois de devidamente ajustado ao local em questão, o mesmo ficheiro do tipo A poderá ser utilizado para numerosos edifícios. Quanto aos *benchmarks* também estão definidos para edifícios residenciais e não residências de forma genérica, com a possibilidade de serem alterados [60].

A determinação dos pesos relativos de cada um dos critérios é feita tendo em conta os impactos que os mesmos têm e a sua avaliação é realizada através dos seguintes pontos [60]:

- Extensão do efeito potencial;
- Duração do efeito potencial;
- Intensidade do efeito potencial;
- Importância do sistema primário diretamente afetado;
- Ajustamento regional (permite alterar até 10% do valor por excesso ou defeito de cada uma das categorias precedentes).

No que toca à avaliação dos impactos de forma objetiva, existem índices que devem ser determinados. Entre os mais relevantes estão os seguintes [60]:

- Emissões de gases com efeito de estufa;
- Emissões de gases destruidores da camada de ozono;
- Emissões de gases que provocam acidificação da chuva;
- Emissões eutrofizadoras;
- Utilização de energia primária.

Existem ainda outros indicadores que, apesar de não serem numéricos e portanto não serem de fácil formulação matemática, adquirem extrema importância na análise ambiental de um edifício. Um exemplo deste tipo de critérios será a qualidade do serviço prestado pelo edifício que adquire um carácter subjetivo. No sentido de contornar este problema, para estes critérios, é usada uma classificação escalar em que se atribuem classificações numéricas a várias frases que podem ser a resposta ao critério [60].

Um último fator que o presente método tem em conta é o do contexto que pode influenciar até se um dado critério deve ter menor peso ou até deixar de ser considerado. Assim, para determinar esta influência, são identificados fatores regionais com relevância como as horas de sol, graus-dia, grau de urbanização, disponibilidade de água, temperaturas de projeto exterior, etc.

Depois de considerados todos os fatores apresentados, o esquema atribui uma classificação que pode ser de: -1, 0 (mínimo), 1, 3 (boas práticas) ou 5 (melhores práticas) [60].

ANEXO B: Resultados projetos AuditAC e HarmonAC

a) AuditAC

O projeto AuditAC (*Field Benchmarking and Market Development for Audit Methods in Air Conditioning*) consiste numa parceria entre várias entidades com vista a fornecer ferramentas e informação que permita que os auditores, inspetores, operadores e donos de um dado edifício (e portanto também de um sistema AVAC), possam implementar ações de aumento da eficiência energética dos vários equipamentos que compõem o sistema. Através destas pretende-se, assim, poupar a nível financeiro e diminuir também a nível das emissões de gases com efeito de estufa [50].

É um programa de 2 anos iniciado em 2005 com as participações de entidades de vários países, nomeadamente: França, Reino Unido, Eslovénia, Áustria, Bélgica, Portugal e Itália bem como com a colaboração da *Eurovent*. [50]

O grande objetivo deste projeto é implementar, ou ajudar à implementação do artigo 9 da EPDB de 2002 [27], que se apresenta de seguida:

“Artigo 9: Inspeção de Sistemas de Ar Condicionado

No que toca à redução do consumo energético e limitação da emissão de dióxido de carbono, os Estados Membros devem implementar as medidas necessárias para estabelecer um período regular de inspeções aos sistemas de Ar-Condicionado que tenham uma potência efetiva superior a 12 kW.

Esta Inspeção deve incluir uma avaliação da eficiência do sistema de ar-condicionado e do dimensionamento comparado às necessidades de arrefecimento do edifício. Devem ainda ser dados conselhos apropriados relativamente aos melhoramentos possíveis ou até substituição do sistema de ar-condicionado ou ainda de possíveis soluções.”[27]

De uma forma geral, os equipamentos de Ar Condicionado terão que ser alterados, no máximo dentro de 10-15 anos um pouco por toda a Europa já que se tornarão obsoletos ou avariarão. Este facto constitui uma oportunidade para se implementarem medidas concretas de aumento da eficiência energética aquando da grande renovação associada, inevitavelmente, à substituição do sistema. Assim, este projeto propõe-se a acelerar o processo de adoção de inspeções a equipamentos de Ar Condicionado que consta, conforme citado, na própria legislação gerando um número de demonstrações de campo e *benchmarks* de inspeções e auditorias. Este processo será um incentivo às boas práticas e à divulgação dos benefícios que advêm das melhorias de eficiência. [50] De uma forma geral e resumida, este projeto tem 5 grandes objetivos [50]:

1. Disseminar a informação sobre as medidas de aumento da eficiência energética levadas a cabo ao nível da União Europeia para aumentar a motivação das partes envolvidas para que se possa tirar proveito das oportunidades criadas;
2. Acelerar a adoção de boas práticas nas inspeções a sistemas gerando histórias de sucesso;
3. Aumentar a percentagem de inspeções que são sucedidas por auditorias gerais ao sistema para que se possa avaliar de forma mais efetiva o sistema;
4. Fornecer ferramentas que façam com que as auditorias sejam realmente fatores de renovação e mudança.

Para atingir todos os objetivos enumerados, como output deste projeto temos a lista de ECO's. (*Energy Conservation Opportunities*). Estas consistem numa série de fatores que foram identificados e que, se forem melhorados, introduzem uma redução significativa do consumo energético (melhoramento da performance energética do edifício), tendo em conta as condicionantes financeiras e operacionais de cada sistema.[50]

De seguida apresentam-se as tabelas de ECO's que foram output do projeto divididas em categorias e subcategorias [50]:

Tabela 19 – ECO's para a envolvente e cargas térmicas. [50]

Código	ECO	
Redução de ganhos solares / Melhor controlo da iluminação natural		
E1.1	Colocar filme protetor na janela ou vidros coloridos.	
E1.2	Instalar persianas, cortinas ou telas.	
E1.3	Atuar as persianas, cortinas e telas.	
E1.4	Substituir persianas internas por dispositivos externos.	
E1.5	Fechar as varandas para fazer efeito de estufa.	
E1.6	Modificar a vegetação para poupar energia através do correto sombreamento.	
E1.7	Fazer manutenção às janelas e portas.	
Ventilação / Movimentos de ar / Melhoramentos de infiltrações de ar		
E2.1	Permitir abertura e fecho de janelas e portas para adequar ao clima.	
E2.2	Assegurar uma ventilação apropriada dos espaços de sótão.	
E2.3	Otimizar os percursos convectivos do ar em escadas e poços.	
E2.4	Corrigir o excesso de infiltração de ar	
E2.5	Isolar e selar as infiltrações.	
E2.6	Proporcionar a ventilação durante o período noturno.	
E2.7	Inserir fecho automático de portas que separam espaços climatizados e não-climatizados.	
E2.8	Substituir as portas por outras com melhor <i>design</i> para evitar infiltrações.	
Melhoramento do isolamento da envolvente		
E3.1	Melhorar o isolamento de telhados planos pelo exterior.	
E3.2	Melhorar o isolamento nos sótãos.	
E3.3	Adicionar isolamento nas paredes exteriores preenchendo as cavidades.	
E3.4	Adicionar isolamento às paredes exteriores pelo lado externo.	
E3.5	Adicionar isolamento às paredes das caves externamente.	
E3.6	Melhorar o isolamento do piso acima do espaço de movimento.	

E3.7	Localizar e minimizar os efeitos das pontes térmicas.	
E3.8	Cobrir, isolar ou eliminar janelas ou portas desnecessárias.	
E3.9	Substituir os vidros por vidros duplos ou triplos.	
Outras ações para redução de ganhos.		
E4.1	Reduzir o pé-direito efetivo das divisões	
E4.2	Usar cores apropriadas no exterior	
E4.3	Utilizar o arrefecimento evaporativo através da pulverização do teto com água.	
E4.4	Instalar meios de redução da procura de energia elétrica nos picos de consumo através de cortes de carga.	
E4.5	Substituir equipamento elétrico por tipos de equipamentos com certificação energética (<i>Energy Star</i> ou outros)	
E4.6	Substituir o equipamento de iluminação por outro com baixo consumo.	
E4.7	Modificar as zonas iluminadas para aproveitarem ao máximo a iluminação natural.	
E4.8	Introduzir sensores de movimento e ocupação para atuarem os interruptores de iluminação.	
E4.9	Movimentar equipamentos como fotocopiadoras ou impressoras para locais não-condicionados.	

Tabela 20 – ECO's para a instalação. [50]

Código	ECO	
Controlos da central de gestão técnica centralizada		
P1.1	Instalar uma central de gestão técnica centralizada	
P1.2	Definir a melhor localização para novos equipamentos de medição de consumos energéticos.	
P1.3	Modificar os controlos de forma a tornar sequencial o aquecimento e arrefecimento.	
P1.4	Modificar os controlos para ajustar os pontos de disparo do sistema AVAC às condições climáticas exteriores.	
P1.5	Criar a possibilidade de adotar-se uma estratégia de controlo de velocidades variáveis.	
P1.6	Usar motores elétricos de classe 1.	
P1.7	Reduzir o consumo de equipamentos auxiliares.	
Equipamentos para arrefecimento / Free Cooling		
P2.1	Minimizar influências externas adversas nas torres de arrefecimento ou nos	

	condensadores (incidência solar direta, obstruções ao escoamento de ar, etc.)	
P2.2	Reduzir a potência do compressor ou instalar um compressor mais pequeno.	
P2.3	Dividir a carga de arrefecimento por vários Chillers.	
P2.4	Otimizar o circuito, colocando os chillers em paralelo ou em série.	
P2.5	Melhorar o controlo da refrigeração e o chiller central.	
P2.6	Substituir ou melhorar as bombas de calor ou o equipamento de refrigeração.	
P2.7	Alimentar os condensadores com fontes de água natural.	
P2.8	Aplicar o arrefecimento evaporativo.	
P2.9	Considerar a utilização de águas subterrâneas para o arrefecimento.	
P2.10	Considerar a realização de free cooling indireto através da torre de arrefecimento existente.	
P2.11	Free cooling indireto usando permutadores água-ar exterior.	
P2.12	Considerar a possibilidade de utilização do calor dissipado para ser reabsorvido pelo sistema.	
P2.13	Considerar opções para armazenamento de frio.	
P2.14	Utilizar a rejeição de calor do condensador para reaquecimento do ar.	
Tratamento de ar / Recuperação de calor / Distribuição de ar		
P3.1	Reduzir a potência do motor associado ao ventilador quando se verifique sobredimensionamento.	
P3.2	Relocalizar o motor fora da corrente de ar.	
P3.3	Utilizar os ventiladores com melhor classificação EUROVENT.	
P3.4	Utilizar a melhor classe de UTA.	
P3.5	Considerar a aplicação de desumidificação húmida.	
P3.6	Aplicar ventiladores de caudal variável.	
P3.7	Considerar a aplicação de sistemas VAV.	
P3.8	Fazer a exaustão do ar arrefecido pelos condensadores e pelas torres de arrefecimento.	
P3.9	Introduzir a recuperação de calor na exaustão.	
P3.10	Aplicar sistemas de controlo manual à ventilação.	
P3.11	Criar a possibilidade de aumentar o caudal de admissão de ar exterior.	
P3.12	Substituir as condutas quando possuem fugas.	
P3.13	Modificar a rede de condutas para reduzir as perdas de carga.	
P3.14	Instalar válvula antirretorno no sistema de exaustão.	
Tratamento e distribuição de água		

P4.1	Utilizar a melhor classe de bombas.	
P4.2	Modificar a canalização para reduzir as perdas de carga.	
P4.3	Modificar os sistemas a 3 tubos para sistemas a 2 tubos ou sistemas a 4 tubos.	
P4.4	Instalar equipamentos de bombagem separados para satisfazer as diferentes necessidades das diferentes zonas.	
P4.5	Instalar bombagem de volume variagem.	
Unidades Terminais		
P5.1	Considerar a aplicação de vigas e tetos refrigerados.	
P5.2	Introduzir serpentinas de re-arrefecimento em zonas com altas cargas de arrefecimento.	
P5.3	Aumentar as áreas de permuta de calor nos permutadores de calor.	
P5.4	Considerar a aplicação de ventilação por deslocamento.	
P5.5	Instalar equipamento AVAC localizado em caso de desconforto local.	
Substituição de sistemas		
P6.1	Considerar a aplicação de bombagem de água em circuito fechado.	
P6.2	Considerar a aplicação de VRF (sistemas de caudal de refrigeração variáveis).	

Tabela 21 – ECO's para operação e manutenção. [50]

Código	ECO	
Gestão das instalações		
O1.1	Construir um manual de instruções para os ocupantes do edifício.	
O1.2	Designar um gestor de consumos energéticos.	
O1.3	Dar formação aos utilizadores do edifício na área energética e de operações de operação e manutenção energeticamente eficientes.	
O1.4	Introduzir objetivos no que toca à eficiência energética do edifício no contrato de operação e manutenção.	
O1.5	Introduzir benchmarks e monitorização nos contratos de operação e manutenção com a indicação de valores em gráficos e tabelas.	
O1.6	Atualizar a informação e documentação sobre o sistema e sobre os procedimentos de operação e manutenção para reduzir os custos de localização de problemas/falhas.	
O1.7	Certificar-se de que a equipa de operação e manutenção têm ferramentas de diagnóstico atualizadas.	
Sistema AVAC Geral		

O2.1	Utilizar um sistema de contabilidade energética que seja responsável por detetar possíveis poupanças e medir o sucesso de medidas de poupança energética.	
O2.2	Desligar os equipamentos de Ar Condicionado quando não sejam necessários.	
O2.3	Desligar equipamentos auxiliares quando não são necessários.	
O2.4	Manter o controlo sobre os pontos de disparo do sistema.	
O2.5	Ajustar os pontos de disparo do sistema internos às condições climáticas exteriores.	
O2.6	Implementar um ciclo pré-ocupação.	
O2.7	Tornar o aquecimento e arrefecimento sequenciais.	
O2.8	Adotar uma estratégia de controlo de velocidade variável.	
Equipamento de arrefecimento		
O3.1	Desligar o sistema do chiller quando não for necessário.	
O3.2	Sequenciar a utilização de múltiplas unidades.	
O3.3	Dispor os chillers em paralelo ou em série.	
O3.4	Construir e otimizar o horário de utilização dos chillers.	
O3.5	Manter a frequência e tempo de operação dos chillers.	
O3.6	Melhorar o controlo de operação de cargas parciais.	
O3.7	Manter as temperaturas apropriadas de evaporação e condensação.	
O3.8	Aumentar a temperatura da água à saída do chiller e a pressão do gás admitido.	
O3.9	Baixar a temperatura e pressões da água condensada.	
O3.10	Verificar a localização e funcionalidade dos chillers.	
O3.11	Manter uma fusão eficiente.	
O3.12	Manter uma taxa de calor admitido da fonte quente e dissipado para a fonte fria aceitáveis.	
O3.13	Manter o funcionamento do dispositivo de expansão do chiller.	
O3.14	Verificar as perdas do chiller em modo standby.	
O3.15	Manter o refrigerante a plena carga.	
O3.16	Fazer a manutenção ao condensador e substituir as alhetas danificadas.	
O3.17	Limpar os tubos do condensador periodicamente.	
O3.18	Reparar ou melhorar o isolamento no chiller.	
O3.19	Limpar e manter os circuitos da torre de arrefecimento e superfícies de troca de calor dos permutadores.	

O3.20	Aplicar o free cooling indireto através da torre de arrefecimento existente.	
Tratamento e distribuição de fluidos		
O4.1	Considerar mudar a temperatura de distribuição de ar.	
O4.2	Fazer ventilação no período noturno.	
O4.3	Desligar os circuladores de bobinas quando não seja necessário.	
O4.4	Substituir dampers de mistura.	
O4.5	Ajustar as correias.	
O4.6	Eliminar fugas de ar.	
O4.7	Aumentar o caudal de ar admitido do exterior.	
O4.8	Ajustar e equilibrar o sistema de ventilação.	
O4.9	Reduzir o caudal de ar para as necessidades reais.	
O4.10	Verificar o protocolo de manutenção para reduzir perdas de pressão.	
O4.11	Reduzir fugas de ar nas condutas.	
O4.12	Limpar as pás do ventilador.	
O4.13	Fazer manutenção aos discos.	
O4.14	Limpar e substituir filtros regularmente.	
O4.15	Reparar e melhorar isolamentos de condutas, tubagens e depósitos.	
O4.16	Considerar o aumento da diferença de temperatura entre a entrada e saída da água e reduzir o caudal para uma redução da potência de bombagem.	
O4.17	Equilibrar a rede de distribuição de água.	
O4.18	Purgar o ar da rede de abastecimento de água.	
O4.19	Desligar as bombas de circulação quando não são necessárias.	
O4.20	Manter um nível de água adequado no vaso de expansão.	
O4.21	Reparar as fugas de água.	
O4.22	Reduzir os caudais de água para os valores realmente necessários.	

b) HarmonAC

A partir do projeto AuditAC e com o estabelecimento das medidas de aproveitamento das oportunidades de poupança energética (ECOs), surge a pergunta sobre quais as ECOs que mais ocorrem nos edifícios e a que poupanças levam cada uma delas [61].

No seguimento destas questões surge o projeto HarmonAC (*Harmonizing Air Conditioning Inspection and Audit Procedures in the Tertiary Building Sector*) que tem como grandes objetivos [61]:

- Compreender como os sistemas de AC funcionam determinando as reais oportunidades de poupança;

- Comparar as ECOs identificadas em auditorias com as ECOs determinadas no projeto AuditAC;
- Propor procedimentos de inspeção a aplicar;
- Fornecer novas ferramentas e materiais testados no terreno aos auditores;
- Garantir que as conclusões do projeto são devidamente divulgadas para que os agentes legisladores possam tomar medidas fundamentadas de melhoramento da legislação em vigor.

Para além da preocupação objetiva em termos de quantificação do impacto da implementação das ECOs, este projeto surge na sequência de outras preocupações que abarcam o universo europeu da manutenção de equipamentos AVAC e sua manutenção. Verifica-se que existe uma falta de informação pública sobre os consumos energéticos de sistemas AVAC, assim como não há incentivos legislados para as melhorias de eficiência destes sistemas. Além destes fatores, também não há um estímulo ao fabrico de equipamentos mais eficientes, já que os fabricantes não conseguiriam vendê-los [61].

A metodologia do projeto passa por duas fases: uma antes da auditoria, chamada “pré-auditoria”, em que se recolhem todos os dados relevantes de projeto para a auditoria e não exige presença no edifício em análise. A segunda fase é a da inspeção propriamente dita, em que se analisam as condições de operação do sistema *in situ* sendo necessária uma visita ao local [61].

A recolha de dados é realizada por intermédio de auditorias isoladas a vários edifícios ao longo da Europa e também por várias monitorizações efetuadas por períodos longos (mais do que um ano) aos consumos por parte de cada equipamento por toda a Europa [61].

Aplicando a metodologia descrita, os investigadores chegaram às seguintes conclusões [61]:

- É possível uma poupança entre 35 e 40% no consumo energético de equipamentos de ar-condicionado, sendo que a poupança em termos de utilização de energia primária atingiria os 10,4%;
- As ECO's mais frequentes encontradas nos vários equipamentos podem ser encontradas na Figura 71;
- As inspeções apenas cobrem uma pequena parte do potencial total de poupança que apenas será atingido com a implementação de um sistema de monitorização durante um longo período (muitas das ECOs só foram identificadas desta forma);
- As ECOs mais fáceis e com menos custos associados de implementação são as que se relacionam com o controlo do sistema. No entanto, a sua identificação exige longos períodos de monitorização;
- Muitas ECOs nunca serão implementadas na prática porque o seu custo de implementação é superior ao custo associado ao excesso de consumo provocado pela não implementação das mesmas;
- As observações em termos reais de consumos energéticos são as que mais facilmente sensibilizam os operadores e donos dos edifícios para a necessidade de políticas de aumento da eficiência energética;
- A perceção geral é de que as inspeções são momentos de verificação regulamentar obrigatória e não oportunidades para aferição dos potenciais de poupança;

- A gestão eficiente dos recursos energéticos é pouco estimulada, pois mesmo fazendo-o, as direções são obrigadas a fazer auditorias. Esta gestão não traz benefícios do ponto de vista das direções.

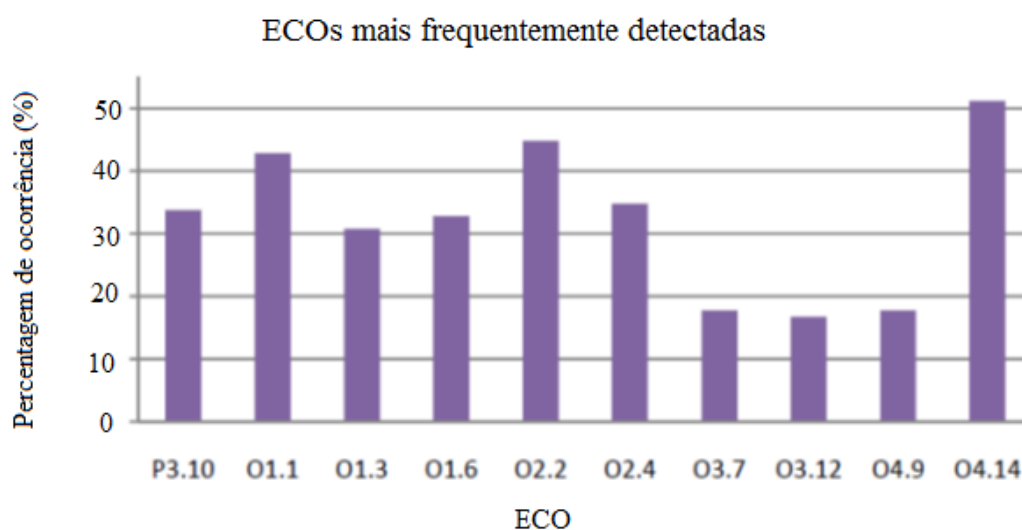


Figura 71 - ECOs mais frequentes nos sistemas de AC [61]

Monitorização contínua dos consumos energéticos em centros comerciais e consequente influência no seu desempenho energético

ANEXO C: Evolução temporal das inaugurações de Centros Comerciais em Portugal

Ao longo dos gráfico seguintes (Figura 72, Figura 73, Figura 74 e Figura 75) apresentam-se as evoluções em termos de inaugurações de Centros Comerciais das diferentes tipologias em Portugal.



Figura 72 – Evolução temporal das inaugurações de Centros Comerciais do tipo Tradicional grande e muito grande em Portugal [40]

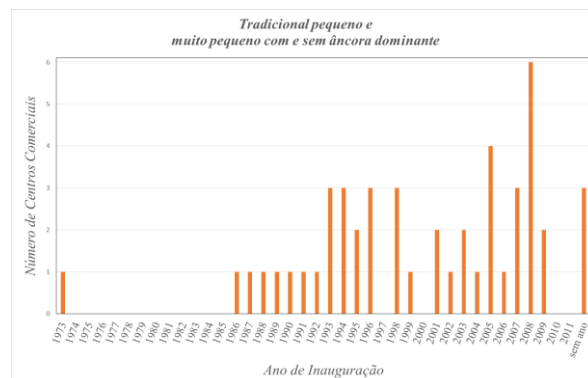


Figura 74 - Evolução temporal das inaugurações de Centros Comerciais do tipo Tradicional pequeno e muito pequeno e sem âncora dominante em Portugal [40]

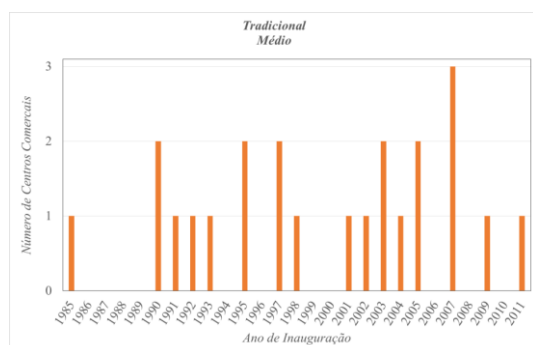


Figura 73 - Evolução temporal das inaugurações de Centros Comerciais do tipo Tradicional médio em Portugal [40]

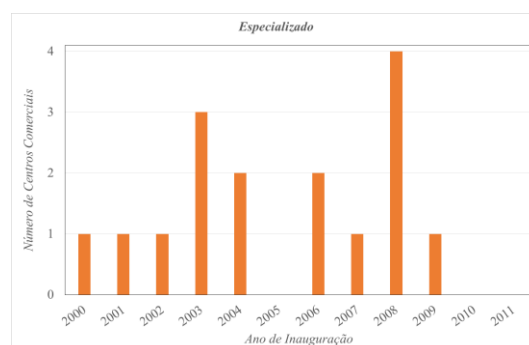


Figura 75 - Evolução temporal das inaugurações de Centros Comerciais do tipo especializado em Portugal [40]